

**PHILIPS**

Circle of light

White paper



# The effect of light on our sleep / wake cycle

by Luc Schlangen, principal scientist at Philips

光と睡眠覚醒サイクル白書

# エグゼクティブサマリー(要約)

照明の発達により、私たちは必要以上の光の中で生活するようになりました。良質な睡眠を得るためには、一般的に朝から日中にかけて十分な光を浴びることが必要で、夜になるとその量が減り、夜中はできるだけ少ないほうがよくなります。日中の外出で浴びる太陽光や室内にいる時の照明で、1日に浴びる光をうまくコントロールすることにより、睡眠の質を高めて気持ちよく起きられるようになります。

現代社会では、多くの人が睡眠時間を奪われています。多くの人は夜に8時間の睡眠を必要としますが、平均睡眠時間は今や約6時間半になっています。これではとても十分とは言えません。睡眠不足により疲労が蓄積されると、実に多くの心理的影響が出てきます。ストレスやミスはもちろん、判断力や記憶力、集中力、注意力、創造性の低下などが発生します。健康面にも影響があります。薬の過剰摂取、肥満、免疫力の低下、さらには2型糖尿病、心血管疾患、がんの発症率上昇などがあげられます。

人の体を対象とした研究のなかで最も面白い分野のひとつに、「光が人の概日リズムに及ぼす影響」があります。2000年に、目の中にある新たなタイプの光受容体が睡眠覚醒サイクルの調節に大きな役割を果たしていることが発見されて<sup>63,64,65</sup>、研究に拍車がかかりました。この光受容体を介して光が体内時計をリセットし、いつでも体や臓器が必要な機能を迅速に果たせるようにしているのです。光と心身の健康はともに、睡眠覚醒サイクルが良好であることと切っても切れない関係にあり、この睡眠覚醒サイクルのリズムが乱れると、私たちの活動状態や健康に大きな影響が出てくる可能性があります。睡眠の障害と、うつ病や統合失調症、双極性障害などの精神疾患との間には強いつながりがあるように思われます。

光が睡眠覚醒サイクルに及ぼす影響に関する以下の研究結果は、特に注目に値します。

1. 眠気を誘って睡眠覚醒サイクルを調節するホルモン、メラトニンの産生が光の影響を直接受ける<sup>1,2,3,4</sup>。この光には、自然光だけでなく人工光も含まれる。
2. 私たちの生まれもった体内時計は通常、平均24時間15～30分の周期で動いており<sup>5,6,7,8</sup>、人工的な24時間周期の時計よりいくぶん周期が長くなっている。これがリセットされないと、眠たくなる時間が遅くなって、朝には目覚まし時計に頼りがちになる。
3. しかるべき時間にしかるべき性質の光を浴びれば、この30分の遅れをリセットでき、体内時計を人工的な24時間周期の時計に再び同期させることができる<sup>9,10,11,12</sup>。
4. 体内時計の調節に朝の光が大きな力を発揮するほか<sup>13,14,15,16</sup>、明るい日光を再現した人工光も睡眠覚醒サイクルを調節して同期させるのにきわめて効果的である。
5. 時差ボケ<sup>17</sup>も「ソーシャル・ジェットラグ」(ブルーマンデー)も、克服するには光が鍵になる。
6. 光は気分に影響を及ぼし<sup>18,19,20,21,22,23</sup>、良好な睡眠覚醒サイクルを強化することによって、心身の健康全体に寄与している。

この白書では、フィリップスなどが実施した概日リズム(体内時計)に関する研究の一部を取り上げ、さらに青の囲み記事には、光と心身の健康に関する実用的な手引きを載せています。

# 1. メラトニンが睡眠覚醒サイクルを調節している

進化の過程で私たちは、屋外の光に適応できるようになりました。屋外の自然光の量は室内の通常の照明状態をはるかに上回っています(図1)。晴れた日の屋外では100,000ルクスですが、どんより曇った日や雨の日でも2,000ルクスあります。しかし室内では一般的に、その4分の1以下です。光の量は見えやすさだけでなく、睡眠覚醒サイクルにも重大な影響を及ぼします。

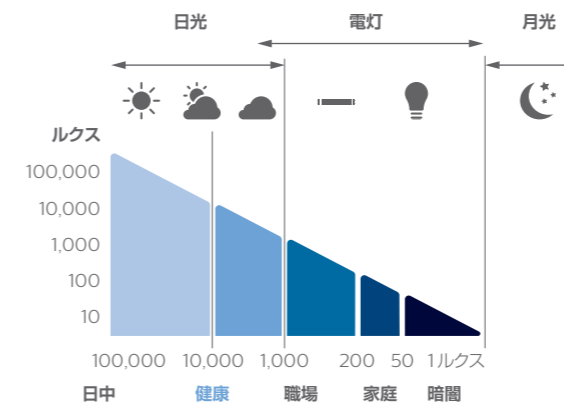


図1: 私たちは大量に光がある屋外で進化してきました。室内では光がずっと少なくなります。

睡眠覚醒サイクルに重要なのがメラトニンで、睡眠を促進するホルモンです。通常はメラトニンが産生されるのは夜中の暗い時間に限られ、メラトニンが「今が眠りに最適な時間です」と体に伝えます。メラトニンの分泌中は眠気を感じてすぐに眠りに落ち、目を覚ますこともほとんどなく、睡眠を妨げられることはありません<sup>24</sup>。もっとも、睡眠時間は周りの環境にも左右されます。8時間の時もあれば、それ以上、それ以下の時もあります。

いつも夜中に眠っているのであれば、日中のメラトニンの量は検出限界以下になります。活動している間は通常はメラトニンが分泌されず、眠気をあまり感じません。もちろん、日中に眠くなることもあるので、メラトニンだけが覚醒状態を調節しているわけではなく、起きている時間の長さも重要です。ただ、日中はメラトニンが産生されないので、眠り続けるのは難しく、目が覚めてから眠り直すのも難しいのです<sup>24</sup>。

メラトニンの量はほかにも、体温の調節にかかわっています。メラトニンの量が増えると、深部体温(内臓の温度)が下がります。この体温の変化はわずか数分の一度と比較的小さいものですが、かなり明確に把握されています。24時間周期で変化して、夜中に体温が一番低くなります(図2)。

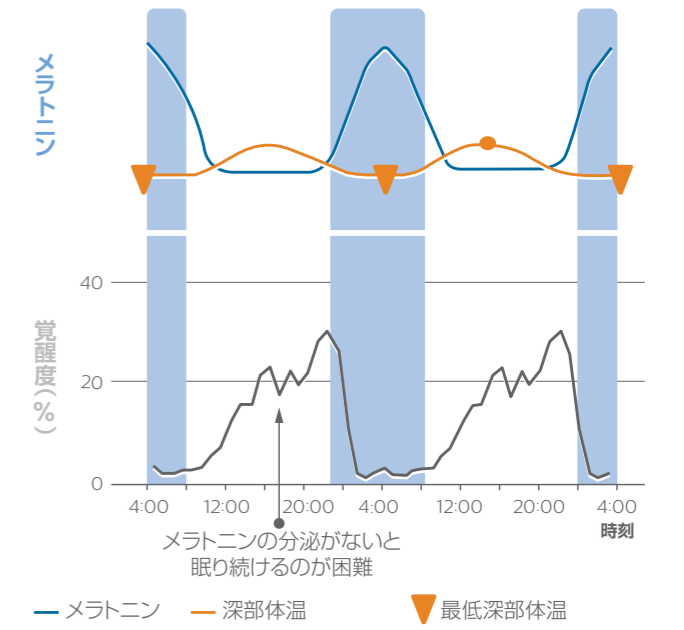


図2: 私たちの体は、通常の睡眠時間帯である夜中にだけメラトニンを産生します。メラトニンの産生中は深部体温が下がり、深い眠りが得やすくなります。日中はメラトニンが産生されないで、3～4時間以上の睡眠を取るのが難しくなります(図はDijkら<sup>24</sup>より抜粋)。

図2のオレンジの三角は、メラトニンの分泌量がピークに達して(通常は普通の起床時間の約2時間前)、深部体温が一番低くなる時点を示しています。この最低深部体温が体内時計の状態を教えてください。また、この三角の時点は活動力や覚醒状態、認知力、意欲が一番低くなる時点でもあります<sup>25</sup>。朝起きた直後も活動力が低く、「睡眠慣性」(まだ睡眠が続いているような状態)を振り払って活動を始める準備が整うまではこの状態が続きます。もちろん眠気に耳を貸さないこともできますが(私たちははなかと体の訴えに耳を貸さずにいることができちゃうものです)。

## 2. 体内時計

周りに光がまったくない環境（たとえば、極地の冬や地下の洞窟など）に置かれ、好きな時に起きて好きな時に寝ていいと言われると、ほとんどの人は24時間よりわずかに長い周期で睡眠覚醒サイクルが自律的に動きます。私たちの体内時計、それから睡眠時間帯は、なにも時間を知る手がかりがなければ、毎日時計回りに約15～30分ずつずれていきます(図3)<sup>5,6,7,8,26</sup>。そのずれ具合にはやはり個人差があり、反時計回りにずれていく人もいます。

暗闇で24日間過ごせば、体内時計が1日30分ずつ時計回りにずれて昼と夜が逆転するので、日中に眠って夜中は起きていることになるはずです。

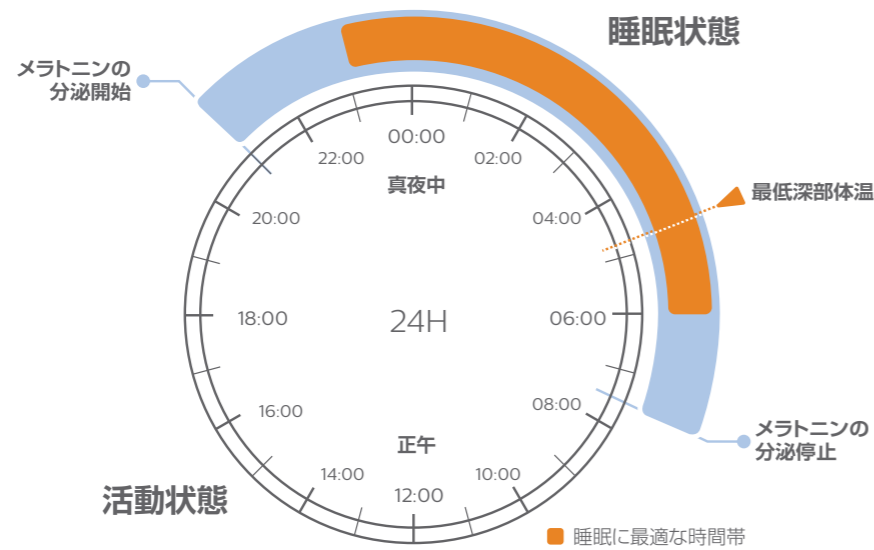


図3: この図は体内時計のサイクルを表したものです。メラトニンは、私たちが普段眠っている時間帯、通常は夜間を通じて産生されます。このメラトニンというホルモンが体温と体内時計の調節に一役買っています。メラトニンの分泌の終わる時間が、普段の覚醒時間の始まりであり、覚醒している時間帯にはメラトニンは産生されません。メラトニンの産生は通常、普段眠りにつく時間の1～2時間前になって再開されます。ただし、この時間帯に浴びる光の量が十分に少なければの話です。睡眠に最適な時間帯はメラトニンが産生されている時間です。深部体温が最低になる前の数時間に光を浴びると、睡眠に最適な時間帯が遅くなり（時計回りにずれる）、深部体温が最低になって数時間以内に光を浴びると、それが早くなります（反時計回りにずれる）。光を浴びる時間が深部体温の最低になる時間に近いほど、体内時計をずらす作用が強くなります。光を浴びることによってのみ体内時計をずらすことができますが、それでも1日1時間～1時間半が限度です。

## 3. 光と睡眠覚醒サイクル

通常は、毎日光を浴びてメラトニンの分泌が調節され、睡眠覚醒サイクルがリセットされます。図3の円グラフを見れば、いつ光を浴びるのがいいか、どんな種類の光が最適かを知るのに役立ちます。

体内時計をリセットするには**朝の光**がとても効果的です。朝の光は睡眠時間帯を1日当たり最大約1時間早めてくれます（図3で言えば、反時計回りにずらしてくれます）。では朝の光とはどのような光のことでしょうか。これには、深部体温が最低になってから数時間の間に受ける光ならどんなものでも分類されます。朝の光を浴びることによって起きるのが苦でなくなり、「朝型人間」にだってなれるのです。睡眠覚醒サイクルを調節するには、青色の波長の、強くても明るい光が最も効果的です<sup>9,10</sup>。1件の試験で、短パルスの光でも体内時計をリセットするのに大変効果的であることが示されています<sup>11</sup>。

これには、どんな悪影響があるのでしょうか。それは、私たちがどうしたいのにかにもよります。夜に生活したい人もいるにはいますが、家族がいるなど社会的責任がある場合には、まともな生活を送るのが容易ではなくなってしまうです。

この24日間ののちに通常の世界に引き戻されると、12時間の時差ボケと同じ体験をすることになります。たいてい体の機能に異常をきたしてめまいを感じたり、不眠になったり、吐き気を催したり、疲労を感じたりします。もちろん、暗闇で過ごす状態がさらに24日間続けば、49日目にはサイクルが元に戻って、夜中に眠って日中に起きている態勢が整います。

べき時にできるようにしておくには、毎朝早い時間に強いブルーライトを浴びるのが大切であることを示しています。

私たちの多く（「夜型人間」ではありません）は、朝起きて日々の義務を果たすのに、目覚まし時計を必要としています。朝起きると、コルチゾール(ストレスホルモン)の濃度が自然に上昇します。コルチゾールによって、朝起きて活動を始める態勢を整えやすくなっています。フィリップスは日の出を再現したウェイクアップライトを製作しました。目覚ましが鳴る前に徐々に光の量を増やしていくのです。フィリップスとパーゼル大学が共同で、このウェイクアップライトを使って朝の明るさを調整し、コルチゾールの濃度に及ぶ影響をみる試験を実施しました<sup>28</sup>。この試験から、目覚ましを鳴る前に光を浴びると、暗闇の中で目覚めるのと比べて、目覚めた直後からコルチゾールの濃度が上昇することがわかりました<sup>29</sup>。このほか、夜明けを再現した人工光を浴びると、かなり後の時間帯になっても幸福感、気分、認知能力といった主観的要素が改善することがわかりました。起きる前に徐々に光を増やすことによって活動が活発になるというこの効果は、体内時計のずれとは関係がなかったのですが、この装置をはじめで使用した時点ですでに予想できていたものでした。

フローニンゲン大学が実施した別の試験では、ウェイクアップライトが気分、起床時のエネルギー量、調子、幸福感といった主観的な尺度に正の影響を与えることがわかりました。このことは、家庭で就寝時間と起床時間を普段通りにして使用した場合にも当てはまります。また、ウェイクアップライトは体内時計をずらすことはなくても、睡眠慣性の持続時間をかなり減らしてくれます<sup>30</sup>。

フローニンゲン大学が実施したさらに別の試験では、睡眠研究所でのウェイクアップライトの効果を検討しています。この試験から、光を浴びて目覚めると、主観的な眠気が少なくなり、末端の皮膚温度が下がって覚醒状態が強まることわかりました<sup>31</sup>。手足が温かくなるとすぐに眠りに落ちてしまいますが、手足が冷えると覚醒状態が強まります（深部体温はこれとは逆に、最も低い時に眠りが最も深くなります）。

日中に光を浴びる量が十分でないと睡眠が乱れることがあります。年配の人や<sup>32</sup>、**日中ほとんど光を浴びない**人は、日中に浴びる光の量を増やせば夜間のメラトニン分泌量が増え、概日リズムの振幅を増幅することができます。

日中、それもやはり朝方が外に出るのに最高の時間帯です。できれば子供を連れていったり、犬の散歩に出かけたりするといいでしょう。昼夜を問わず、光はいつでも覚醒状態を強めます。日中に覚醒状態になるのはたいてい好ましいことですが、夜になるとそう望ましいことではなくなります。このことは特に、ほとんど外出することがなく、光を浴びる量が室内の環境にかかっている人、たとえば、1日のほとんどを室内で過ごす社員や学生、身体的な制約があって外出することができない年配の人に当てはまります。また、日中に明るい光やブルーの多いライトを浴びることが、気分プラスの効果をもたらすことがわかっています<sup>18-23</sup>。

日中に浴びる光の量を増やせば夜中の睡眠の質がよくなります。特に年配の人については、外に出ることについてまた別の議論があり、外に出れば身体活動度が高まります。

日中にたくさん光を浴びると、光に対する感度が低くなると考えられています。1日中外にいる農家の人のほうが、1日中室内にいる学生よりも、夜や夜中に光を浴びることによって睡眠が妨げられることが少ないことがわかってきました（まだ確証があるわけではなく、科学者たちが検討している仮説の1つです）。一部の人間については、光を浴びすぎてしまうことに懸念がある場合もあります<sup>33</sup>。網膜がきわめて傷つきやすい人は、光によって網膜が損傷してしまう可能性があるため、できるだけ光から網膜を守る必要があります（ほかにも、皮膚がんのリスクが高くないように、最大推奨日光量というものがあります）。

**夜の光**も、薄暗くてブルー（短波長）が少ない光であれば、リラックスして眠る準備を整えてくれます。しかし、夜に明るい光を浴びると遅くまで眠れなくなってしまい、やはり1日あたり最大約1時間寝る時間が遅くなってしまいます（図3では睡眠時間帯が時計回りにずれます）。そうすると、翌朝に起きるのが大変になります。では夜の光とはどのような光のことでしょうか。それは、深部体温が最低になる前の数時間に網膜に当たる光のことです。光を受けるのが、深部体温が最低になる時間に近いほど、体内時計をずらす作用が強くなります。

朝寝坊の人と早起きの人大きな違いは、光を浴びる時間帯の違いです。私たちの体や気分にとって「どちらがいい」のかは、体も気分もそれほど大きく変化するものではないので、科学者たちにもまだわかっていないのです。自然光しか浴びない環境（たとえば夏のキャンプ）では、朝寝坊の人のほうが早起きの人よりも体内時計の進み方が大きく、ほとんどの人は日の出直後の起床時間前に体内の生物学的な夜が終わるようになって、朝型人間になるという指摘もあります<sup>34</sup>。

夜に明るい光やブルーライトを浴びないようにすれば、遅くまで起きて余暇の活動を楽しんでも、概日リズムが乱れることはありません。最新のLEDライトのなかには、さまざまな波長の光を発するように調節できるものもあり、特に役立ちます。

夜中に良質の睡眠を取るためには、寝室を十分に暗くして、就寝時間を変えないようにしてください。就寝前の1～2時間は明るい光（特にブルーライト）を浴びないようにして、暖色（赤や黄色が強い光）の照明を使うようにしてください。就寝前の1時間ぐらいはリラックスして、パソコンや携帯電話など刺激の強すぎるものは使わないようにしてください。それから、朝には十分に光を浴びるようにしてください。できれば、起きてから1～2時間以内に明るい光を浴びるのが望ましいでしょう。

遅くまで起きて（たとえば）パソコン、電子書籍リーダー、タブレットを使っていると、「夜型人間」になりやすいことが諸試験で明らかになっています。ただ、夜に（たとえば）パソコンを使うことがもたらす影響を検討した試験では多くの場合、被験者をまず光のない環境に置いてから光を浴びさせたりタブレットを使わせたりしているので、その結果の妥当性は慎重に検討する必要があります。光のない環境に置かれるだけでも光に対して敏感になりますし、そもそも日常生活ではあまりないことです。タブレットが発する光を調節するアプリ（日中は青く明るくし、夜は赤く薄暗くする）は、いつも薄暗い環境で使うのであれば役に立ちますが、明るい環境で使ったり、日中にたくさんの光を浴びた人が使ったりするのであれば、あまり効果はないかもしれません。

**夜中**に光を浴びるとメラトニンの分泌が抑制され<sup>3,4</sup>、眠りにつくのが難しくなるので<sup>1</sup>、翌朝に早起きするのがつらくなります。目が光を受けて数分以内にメラトニンの抑制が始まります。数分間光パルスを受けただけで、メラトニンが抑制されるには十分です。このことは、目が不自由な人の一部にも当てはまります<sup>3</sup>。視力を失っても、（メラトニンの分泌にかかわる）メラノプシン<sup>35</sup>光受容体は機能しているからです。ある試験<sup>3</sup>では、夜中に被験者に光パルスを当てると、少しの時間ですが劇的にメラトニンが減少するという結果になりました。再び暗くすると、30～90分程度という短時間でメラトニンの量が増え、また眠りにつくことができました。

比較的短時間でも光を浴びてしまうと、私たちは敏感に反応するため、バスルームの誘導灯は薄暗くしたほうがよいです（ブルーライトは避けましょう）が、つまづかないようにしっかり見える程度の光は必要です。

それでもやはり、夜中は光をできるだけ使わないようにするに越したことはありません。夜中に光を浴びると睡眠覚醒サイクルが乱れてしまいますが、できるかぎり乱さないほうがいいのです。警察官や医師をはじめ、夜中に働く人は多くの場合、睡眠覚醒サイクルが不規則になっています。仕

事柄、夜中に覚醒している必要があることが多いのですが、健康にとっては睡眠スケジュールが頻繁にずれることはいいことではありません。私たちは夜中に眠るように進化してきたのですから、そうしたほうがいいのです。寝るのが早いか遅いかということは、その時間を一定にすることほど重要ではありません。

自然からのメッセージは明白です。「**私たちの調子や健康にとっては規則的な睡眠覚醒サイクルが一番大事**」ということです。私たちの体はそのなかで、光とメラトニンにより常に睡眠覚醒サイクルを調節するハンドルのような仕組みを進化させてきました（図3参照）。このハンドルは、日の長さ（日照時間）によって私たちの行動や生理機能を季節ごとに順応させることができるのです。動物の場合、日の長さ（日照時間）が移動や繁殖にかかわっていることもあります。

すでに説明したように、光を浴びるタイミングによって睡眠覚醒サイクルはコントロールできるようになっています。光を浴びるのが深部体温の最低になる時間（CBTmin）に近いほど、光が概日リズムをずらす作用が

## 4. 夜勤、社会的時差ボケ(ソーシャル・ジェットラグ)とブルーマンデー

ヨーロッパと北米では、労働者のほぼ5分の1が**夜勤**の仕事（おもに医療、生産業、輸送、通信、接客の部門）をしています<sup>36</sup>。このことは（普通の時差ボケと同じように）、基本的に健康によいことではありません<sup>37,38,39</sup>。

夜勤をめぐる科学的知見はまだ変遷途上にあり、明確なルールを設けるのが難しくなっています。正確にどの程度の影響があるのかは、個人個人の素因、生活習慣、夜勤（交代制）による睡眠覚醒サイクルの不規則さを含め、複雑に絡みあった多くの要因に左右されます。多くの場合、メラトニンは夜勤の間にも産生されています（メラトニンの分泌リズムがずれてしまうほか、なくなってしまうこともあります）。夜間に働く人は夜中に眠らないので、日中に疲れを感じます。交代制で働く人たちが、数日ごとに前後に8時間ずれるようなスケジュールでシフトをずらすさなければならない場合には、さらに事態が悪くなります。8時間というのは急すぎて、1日で睡眠覚醒の体内時計（メラトニンの分泌時間）をずらすことができないのです。光によって体内時計をずらせるのはせいぜい、1日で約1時間、2日で約2時間といった具合です。

**時差ボケ**には夜勤の仕事と同じような影響があり、やはり体が睡眠覚醒サイクルの大きな乱れに対応できないのです。

では、どうやって時差ボケから回復すればいいのでしょうか。体内時計をリセットしたいわけですから、正しい時間に光を浴びればいいわけです。回復期間には、日中はサングラスをかけて安静にしているのがいいでしょう。ただ、この場合も事は単純ではなく、調節時間を最短にするには、光を浴びる時間と暗いところにいる時間をしっかり管理する必要があります。間違った時間に光を浴びると悪い方向に作用してしまうこともあります。これは深部体温がいつ最低になるかに尽きるのであって（セクション3、朝の光と夜の光を扱ったところで説明しました）、しかもそれは人によって数時間も幅があります。メラトニンを服用（処方箋が必要な国もあります）すれば、睡眠覚醒サイクルを早めにずらすことができますが<sup>40,41</sup>、それでも体内時計をずらせる時間は1日あたり数時間といったところです。

私たちの体は、規則正しく生活するようになできており、睡眠覚醒サイクルを動かすことができるようにはなっていません。これまでの進化の過程では飛行機は存在しなかったし、夜中に働くこともほとんどなかったのですから。

強くなります。CBTminの前に光を浴びると、寝る時間が遅くなり、CBTminの後に光を浴びると、寝る時間が早くなります<sup>13,14,15,16</sup>。このように、タイミングよく光を浴びれば、かなりの朝型人間、夜型人間でも、睡眠時間を調整することができるようになります（昼時に網膜が光を受けても、CBTminからは離れているので、体内時計はほとんどずれません）。

寝るのが早い人は、朝の5時には起きて二度寝をしないことが多いようです。夜に浴びる光の量を増やせば、就寝時間と睡眠の開始時間を遅らせることができます。

概日リズムをずらすことのできる1日の時間は、四季を通じて日ごとに日の長さが長くなったり短くなったりする分（春分や秋分の日でも、普通はたった数分です）よりもはるかに大きいのです。進化の過程でこの機能が発達したようで、これによって私たちは生活パターンをずらして早起きをし、（たとえば）朝早くに活動する魚を捕まえたり、夜行性の獲物を狩ったりすることができるようになったわけです。

## 5. 睡眠覚醒サイクルと健康

私たちは、月曜日の朝（とそれ以降）に気が滅入ってしまう原因になる**ソーシャル・ジェットラグ**<sup>42,43</sup>に苦しむことがよくあります。平日は、多くの人が目覚まし時計をかけて早起きをするので、必要な睡眠時間が取れず、週末にその不足分を補おうとします。金曜日の夜に出かけて明るい光をたくさん浴びると、体内時計が少し遅れてしまいます。土日は休みなので、行動が遅くなることが多いです。（ここでもやはり）夜にいつも以上に活動して明るい光を浴び、寝るのも起きるのも遅くなって朝の光を浴びないと、なおさらです。こうして、週末にスリープ・ウィンドウ（睡眠に最適な時間帯、図3を参照）が4時間も遅れてしまうことがあります。

月曜日の朝には、スリープ・ウィンドウが朝の時間帯にずれ込んでしまっていて、起きるのに苦労します。これが「ブルーマンデー」の原因になります。月曜日の朝、通勤途中でたくさんの光を浴びると思います（朝の明るい光は、普通なら回復しやすくしてくれるでしょう）が、ここにも厄介な驚きの事実があるのです。私たちの体は、深部体温が最低になる前にこの朝の光を浴びると、夜の光と認識してしまうことがあるのです（最低深部体温になる時間が週末のうちに遅い時間に追いやられて、最悪の場合、朝の勤務時間の最初の数時間にずれ込んでしまいます）。こうすると、その朝の光がスリープ・ウィンドウをさらに遅い方向に進めてしまい（図3では時計回りに）、ソーシャル・ジェットラグを悪化させてしまいます。室内で働いていると、それ以外の時間に浴びる光だけでは、スリープ・ウィンドウを元に戻すのに十分でないことが多くなります。

朝に職場の照明以外にも光を浴びると、体内時計をリセットして、日々やるべきことをやるべきタイミングでできるようになります。週末のパーティーで大騒ぎをして、明るい光を浴びてしまった人は特に、月曜日の朝にこれをするのが大切です。

月曜日の夜は早く眠るのもなかなか難しく、よく眠れないことが多いでしょう。真夜中まで寝る態勢に入れずし、本でも読もうと明かりをつけてしまうと、かえって事態が悪化します（セクション3を参照）。幸いにも、ほとんどの人はごく軽度のソーシャル・ジェットラグに苦しむだけで、起きてすぐに、特に問題なく明るい光を浴びたいという欲求に駆られます。

## 5. 睡眠覚醒サイクルと健康

時差ボケに苦しんでいる人、夜勤の仕事をしている人、10代の若者、年配の人、誰もが概日リズムに問題を抱えている可能性があります。人生のうち20歳までは、夜型の傾向が強くなります<sup>44</sup>。それ以降は年を取るにつれて朝型になっていきます（これが人にもともと備わっている性質なのか、それとも年を取るにつれて夜の外出時間が早くなったり、外出が少なくなったりする傾向があるというだけなのかはわかっていません）。

集中治療室（ICU）にいる人は概日リズムの振幅がかなり小さいことがあり、これがせん妄の発生に何らかの影響を及ぼしているかどうかが科学者たちによって検討されています<sup>45</sup>。せん妄はICUでの主要な死因のひとつです。ICUにいる時間を長引かせる原因でもあり、膨大な医療費がかかります。麻酔によっても概日リズムが乱れることがあり（手術によって体内時計が遅れるのではないかと思われます<sup>46</sup>）、こうなると、時差ボケと同じように回復にマイナスの影響を及ぼすことがあります。

新生児ICUも含めて、明かりが24時間ずっとついているところが多くなっています。ここに変興味深くて重要な、意義のある試験があります。メキシコのある新生児病棟で実施されたもので、赤ちゃんがICUにいる期間を30%減らすことができたというものです。赤ちゃんに目隠しをして、夜中に浴びる光を減らすという単純な方法でした。このいとも簡単にローテクの解決策は驚くほどの効果があり、赤ちゃんが家に帰るまでの期間を

## 6. さまざまなアプリケーション、さまざまなタイプの光

私たちが光にどのように反応するかは、生物時計が司る体内時間、光のスペクトルと強さ、それまでに浴びた光（暗闇や薄暗い場所から出れば反応が強くなります）のほか、それまでの睡眠行動など、いくつかの要因で決まります。家庭や職場、学校、病院での照明を考えるにあたって、どれをとっても参考になります。

日中は、ブルーの強い光が有益です。2008年にフィリップスとサリー大学が実施した職場の照明に関する共同試験では、フィリップスのActiVivaライト（17,000K）を検討しました。これはブルーが強く、生物学的に効率のいい波長をもった白色光です。この試験では、通常のオフィスの照明量（約370ルクスの照度）を採用しました。ActiVivaを使用した場合のほうが、覚醒状態や調子がいいと評価し、夜の疲労に悩むことも少なく、睡眠の質が向上したと報告する人が多いという結果になりました。どのパラメータにも有意な改善がみられ、対照として標準的な白色灯（4,000K）を使用した場合より約10～20%程度高くなっています<sup>50</sup>。このことが、日中に浴びる光の量を増やせば夜中の睡眠が改善されることを示しているのは明らかです。この試験は冬のイギリスで実施されたため、屋外で日中に浴びる光は微々たるものでした（夏の期間には日光が不足することも少ないため、この効果がずっと低くなってしまう可能性は十分にあります）。

企業が新しいオフィスをデザインする時は、エアコンやインフラ、ICT（情報通信技術）などの要素には多くの注意を払っても、光のことまで考えていることはめったにありません。でも光を考慮すれば、睡眠や心身の健康

15～20日早めることができたのです<sup>47</sup>。

睡眠と概日リズムが心身の健康にも、しっかり活動するためにも非常に重要だということを示すデータがたくさんあります<sup>66</sup>。精神症状が重度の場合には、概日リズムの乱れが多いことがわかっています<sup>48,49</sup>。精神の問題が睡眠障害より先に生じるのか、それとも睡眠の問題がまず生じるのか。ここでもやはり、どちらが先かはわかっていません。

私たちは光に敏感なため、夜中に十分に暗い環境を作ることが、人生を通じてできる一番簡単で重要なことのひとつです。日中に十分な光を浴びるだけでなく、夜中にリズムを乱すような光を浴びないようにする必要があります。

もっとも、両者が互いに影響を及ぼしあっていることがわかっています。最先端の科学者グループが、睡眠と概日リズムの乱れが感情や身体の反応に及ぼす影響をまとめています<sup>48</sup>。うつ病、精神疾患、リスクをとまなう精神薬の摂取の増加のほか、認知反応、認知能力、記憶力、意思疎通、判断力の障害、それから創造性、生産性の低下や運動能力の悪化といった影響があります。それ以外にも、身体的な反応、眠気の増加、痛覚の増強、がんやメタボリック症候群（糖尿病、高血圧と肥満が合わさった症状）のリスク上昇や免疫機能不全がみられることがあります。

## 6. さまざまなアプリケーション、さまざまなタイプの光

には本当に有益で、生産性や創造性が向上する可能性もあります。最新の研究成果を盛り込もうと、オフィス照明に関する基準の改定が議論されているところです<sup>35,51,52</sup>。

光が覚醒状態にどのような影響を及ぼすかは、ほかにも学校などの教育の場で重要な意味を持っています。フィリップスは、学校での1日のうちどのような環境が必要かによって光の強さとスペクトルを変えられるSchoolVision照明システムを開発しました。これによって集中力を高め、特定の課題をやり終えるスピードを向上させることができます。また、注意力検査でミス数を減らすことができます<sup>53,54</sup>。

光はこれ以外にも、ありとあらゆる臨床的転帰に影響を及ぼします。多くの論文が、睡眠の改善<sup>55</sup>、回復までの期間の短縮<sup>56</sup>、早産児の睡眠と体重増加の改善<sup>57</sup>、せん妄の発症率の低下<sup>58</sup>、ストレス軽減、痛み止め薬の使用の減少<sup>59</sup>など、光の有益性を示すものになっています。

フィリップスはこのような科学論文に触発されて、1日のうち一部の時間帯に光の量を増やす病院用照明システムを開発しました。入院患者を対象にこのシステムを使用した試験が実施され<sup>60</sup>、日中はかなり明るい光の量を増やして夜中の光は少なくする試験用の病室が使われました（図4）。この病室の照明はほかにも、色でアクセントをつけることによって、快適になるように雰囲気を変えられるよう設計されました。この病室の患者のほうが、夜中に光の量を調節して暗くしたり、雰囲気を変えてくつろぎやすいようにしたりすることができたということです。

従来の病室のように、対照用の病室と試験用の病室にはどちらも窓がありました。日よけはありませんでしたが、それでもベッドに届く日光の量は比較的少なく、この試験では照度 300 ルクスでした。試験用の病室では読書灯の明るさが調節可能でしたが、対照用の病室では調節できませんでした。試験用の病室の照明は、夜中には点灯照度を 50 ルクスに制限しました（対照用の病室では 100 ルクス）。

病室の割り振りは病院のいつもの手順で、十分に独立して職務にあたっていて、この試験とは関係のないスタッフが行いました。患者もスタッフも、試験用の病室のほうが満足感がかなり高いという結果になりました。患者のアンケートは対照用の病室と試験用の病室と別々に実施しました。

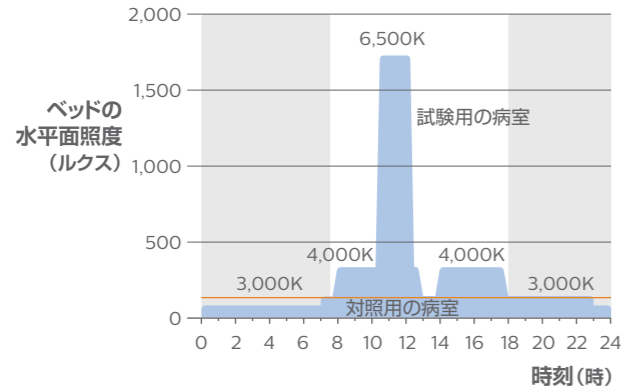


図 4：日中は試験用の病室を、対照用の病室よりも明るく、なかでも正午を挟んだ数時間はかなり明るく設定しました。また、夜中（23:00～7:00）には試験用の病室の点灯照度を、対照用の病室よりも低くしました。

対照用の病室の患者と比べて、試験用の病室の患者では睡眠時間（アクチグラフィにより測定）が毎日 6 分ずつ長くなりました。この効果は累積的なもので、2 日目の夜には 12 分というようになり、滞在期間中央値の 5 日目には最大 30 分近く長くなっていました。対照用の病室では、滞在中に睡眠時間が（有意ではありませんが）わずかに短くなることもあり、1 週間の入院後には概ね、睡眠時間が減っている傾向にありました。

もちろん、照明だけが心地よい雰囲気を生み出す要因ではありません。仕切りのない空間のように騒がしい環境では気が散ってしまいます。フィリップスは、Soundlight Comfort Ceiling といって、日中の光のリズムを再現しつつ、音を吸収して音響を改善するシステムを開発しました。スウェーデン最大の大学病院、カロリンスカ研究所に設置され、そこでストックホルム大学のストレス研究所が試験を実施しました。この試験に参加した患者からは雰囲気よかったという声があり、一部のスタッフからは注意力が高まったという報告がありました。

家庭では、夜から夜中にかけて適切な光を浴びるように気をつける必要があります。このことは、被験者にさまざまな種類の光を浴びせて、夜に浴びる光のうち一番眠りの妨げにならないものを調べた次の試験で明白に示されています。暗闇が最も影響が少なく、次に黄色灯、通常の室内灯と続きました。ブルーが強い白色灯（短波長がかなり多い）となると影響が強くなり、ブルーの強い明るい照明が最も睡眠の邪魔になるという結果になりました<sup>1</sup>。ですから、夜遅く（や夜中）の光によって睡眠と概日リズムができるだけ乱れないようにするには、光を浴びる量とその光に含まれるブルーの量をともに減らさなければいけないということになります。

お子さんが夜中にブルーの多い光を浴びないようにしてください。夜中には、光の強さをできるだけ下げることが望ましいです。

## 7. まとめ

私たちは、光が体や行動に及ぼす影響にもっと関心をもつ必要があります。今日の社会では、生活環境のなかで光が体内時計やその概日リズムを調節しているという事実が、すっかりないがしろにされています。しかし、体内時計は、心身の健康全般、精神面のケア、メタボリック症候群をはじめとする病態に影響を及ぼしています。光は体内時計の概日リズムを調節することによって、ありとあらゆる健康リスクに影響をもたらすので、逆に光によって健康や睡眠の障害を軽減し、避けることすらできるのです。

このような研究成果をあらゆる環境、特に学校、職場、家庭、医療施設などに応用する必要があります。しかし、とりわけ夜から夜中にかけて誤った光を浴びてしまうと、かえって事態が悪化することもあるので、応用する際は慎重にならなければなりません。どのくらいの量をいつ浴びればいいのかについて、正確な推奨条件はまだ十分に整っているわけではありません。ただ科学の世界では、私たちの概日リズムを調節して安定させるためには光が必要で、日中、特に起床後に、比較的明るくてブルーの強い光を浴びるのが有益であるという認識があります。

概日リズムは、私たちが生存できるように 100 万年以上をかけて発達してきたものです（図 5）。日中に光を浴びると、概日リズムを盤石なものにしてくれます。夜に光を浴びると睡眠覚醒サイクルが遅くなりますが、朝に光を浴びるとそのサイクルが早まります（図 3 参照）。夜中に光を浴びると睡眠が妨げられてしまうので、大きな注意が必要です。平均的な室内

環境では、光と暗闇の切り替わりが不規則で、その幅が小さく、ほとんど調節できなくなっています。しかし健康には、睡眠覚醒サイクルに異常がなく安定していることが不可欠で、それには光と暗闇の切り替わりがはっきりしていて、規則的であること（日中は強い光、夜中は光があってもほんの少し）が必要なのです。図 6 に示したような睡眠日記<sup>61</sup>を 1 週間つけて、睡眠覚醒サイクルの安定性を追跡することもできます。

私たちは日中、特に朝にもっと光を浴びられるような照明システムを設計すると同時に、夜中の光に十分に気をつける必要があります。光の量を増やすだけでなく、光の質を改善すること、つまり分光組成、空間分布（放散させるか収束させるか）、動きとタイミングを改善することも重要ということです。

これだけのことを実現するには、さらに優れた調節機能を備えて、さらに明るい光を生み出せるシステムが必要ですが、かなりの明るさが必要なものは 1 日のなかでも一部に限られ、それが起床後の朝早くの数時間であれば申し分ありません。ですから、光の量が調節できて日中の光を増やすことのできる照明システムがあれば、かなり有益です。もちろん目の安全を考慮に入れる必要はあり、新しい照明システムは必ず法規制を遵守したものでなければなりません<sup>33</sup>。また、光のエネルギー効率と見えやすさの問題もあります。エネルギー効率（光を減らす）の問題と、健康のために日中の明るさを増すことの間、うまくバランスをとる必要があります<sup>62</sup>。そ

れにはたいてい、LED ライトを使って、1 日のなかでも一部の時間帯だけ明るくなるようにすればいいということになります。

研究を徹底しようとする時間がかかります。フィールド研究には膨大な時間と資金が必要です。研究テーマを明確にしてから、その研究成果を具体的に発表するまで 10 年を要することもあります。しかし、室内空間というのは世界の人口の大部分にかかわる問題なので、投資の見返りは大き

いはずです。たとえば、コンピュータ制御によって連携する照明システムを改善することによって、すでに多くの効果を上げることができるようになっていて、このシステムもややこしいものである必要はありません。時として驚くべき結果が出ることもあります。たとえば先に言及したメキシコの試験<sup>47</sup>では、夜中に新生児にアイマスクをするだけで大きな効果を生んだのです。

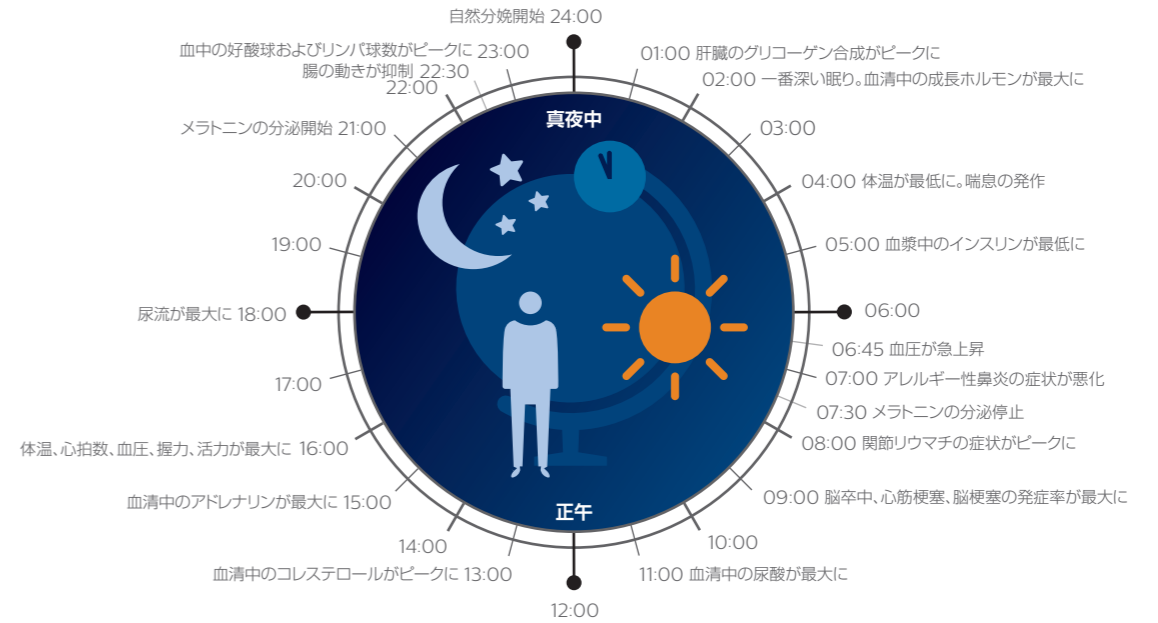


図 5：私たちの体は一定の行動をするように進化してきました。生理学的にも健康面でも多くの事象に概日リズムが現れていて、そのような事象を典型的な概日サイクルに当てはめることができます。この図はその一例です。

コンセンサスを反映した睡眠日記の構成								
	記入例	ID/氏名:						
今日の日付	2011/4/5							
1.何時にベッドに入りましたか	PM 10:35							
2.何時に眠りにつきましたか	PM 11:30							
3.眠りにつくまでにどれくらいかかりましたか	55分							
4.最後に目覚めたのを除いて、何回目が覚めましたか	3回							
5.目が覚めて眠れずにいた時間は合計でどれくらいですか	1時間 10分							
6.最後に目覚めたのは何時でしたか	AM 6:35							
7.ベッドから出たのは何時ですか	AM 7:20							
8.睡眠の質はどうか	<input type="checkbox"/> ひどく悪い <input checked="" type="checkbox"/> 悪い <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 良い <input type="checkbox"/> 大変良い	<input type="checkbox"/> ひどく悪い <input type="checkbox"/> 悪い <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 良い <input type="checkbox"/> 大変良い	<input type="checkbox"/> ひどく悪い <input type="checkbox"/> 悪い <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 良い <input type="checkbox"/> 大変良い	<input type="checkbox"/> ひどく悪い <input type="checkbox"/> 悪い <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 良い <input type="checkbox"/> 大変良い	<input type="checkbox"/> ひどく悪い <input type="checkbox"/> 悪い <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 良い <input type="checkbox"/> 大変良い	<input type="checkbox"/> ひどく悪い <input type="checkbox"/> 悪い <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 良い <input type="checkbox"/> 大変良い	<input type="checkbox"/> ひどく悪い <input type="checkbox"/> 悪い <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 良い <input type="checkbox"/> 大変良い	<input type="checkbox"/> ひどく悪い <input type="checkbox"/> 悪い <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 良い <input type="checkbox"/> 大変良い
9.寝るまでに外で日光を浴びた時間は合計でどれくらいですか	1時間 20分							
10.コメント(なにかあれば)	風邪をひいた							

図 6：Carney ら（2013 年）<sup>61</sup>から取った睡眠日記に、日光に関する質問を追加したものです。毎日記録をつけてください。できれば、朝ベッドから出た時に書きこんでください（この時間に書くのが、記入内容が一番正確で有益です）。正確な時間にこだわらず、可能な範囲でかまいません。この日記を使えば、平日と休日の睡眠パターンを把握できます。

## Acknowledgments

Dr. Vanja Hommes, Senior Clinical Scientist at Philips Consumer Lifestyle, is thanked for the help and valuable input in preparing this document.

# Literature list:

- Santhi N, Thorne HC, van der Veen DR, Johnsen S, Mills SL, Hommes V, Schlangen LJM, Archer SN, Dijk DJ (2011) The spectral composition of evening light and individual differences in the suppression of melatonin and delay of sleep in humans. *J Pineal Res* 53: 47-59. 10.1111/j.1600-079X.2011.00970.x [doi].
- Mishima K, Okawa M, Shimizu T, Hishikawa Y (2001) Diminished melatonin secretion in the elderly caused by insufficient environmental illumination. *J Clin Endocrinol Metab* 86: 129-134.
- Czeisler CA, Shanahan TL, Klerman EB, Martens H, Brotman DJ, Emens JS, Klein T, Rizzo JF, III (1995) Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light. *N Engl J Med* 332: 6-11.
- J. M. Zeitzer, D. J. Dijk, R. Kronauer, E. Brown, and C. Czeisler. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *J.Physiol* 526 Pt 3:695-702, 2000.
- M. A. Carskadon, S. E. Labyak, C. Acebo, and R. Seifer. Intrinsic circadian period of adolescent humans measured in conditions of forced desynchrony. *Neurosci.Lett.* 260 (2):129-132, 1999.
- T. L. Kelly, D. F. Neri, J. T. Grill, D. Ryman, P. D. Hunt, D. J. Dijk, T. L. Shanahan, and C. A. Czeisler. Nonentrained circadian rhythms of melatonin in submariners scheduled to an 18-hour day. *J.Biol.Rhythms* 14 (3):190-196, 1999.
- C. A. Czeisler, J. F. Duffy, T. L. Shanahan, E. N. Brown, J. F. Mitchell, D. W. Rimmer, J. M. Ronda, E. J. Silva, J. S. Allan, J. S. Emens, D. J. Dijk, and R. E. Kronauer. Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*284 (5423):2177-2181, 1999.
- S. A. Brown, F. Fleury-Olela, E. Nagoshi, C. Hauser, C. Juge, C. A. Meier, R. Chicheportiche, J. M. Dayer, U. Albrecht, and U. Schibler. The Period Length of Fibroblast Circadian Gene Expression Varies Widely among Human Individuals. *PLoS.Biol.* 3 (10):e338, 2005.
- S. W. Lockley, G. C. Brainard, and C. A. Czeisler. High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. *J.Clin.Endocrinol. Metab* 88 (9):4502-4505, 2003.
- J. M. Zeitzer, D. J. Dijk, R. Kronauer, E. Brown, and C. Czeisler. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *J.Physiol* 526 Pt 3:695-702, 2000.
- C. Gronfier, K. P. Wright, Jr., R. E. Kronauer, M. E. Jewett, and C. A. Czeisler. Efficacy of a single sequence of intermittent bright light pulses for delaying circadian phase in humans. *Am.J.Physiol Endocrinol.Metab* 287 (1):E174-E181, 2004.
- R. P. Najjar, L. Wolf, J. Taillard, L. J. Schlangen, A. Salam, C. Cajochen, and C. Gronfier. Chronic artificial blue-enriched white light is an effective countermeasure to delayed circadian phase and neurobehavioral decrements. *PLoS.ONE.* 9 (7):e102827, 2014.
- N. E. Rosenthal, J. R. Joseph-Vanderpool, A. A. Levendosky, S. H. Johnston, R. Allen, K. A. Kelly, E. Souetre, P. M. Schultz, and K. E. Starz. Phase-shifting effects of bright morning light as treatment for delayed sleep phase syndrome. *Sleep* 13 (4):354-361, 1990.
- M. Terman, A. J. Lewy, D. J. Dijk, Z. Boulos, C. I. Eastman, and S. S. Campbell. Light treatment for sleep disorders: consensus report. IV. Sleep phase and duration disturbances. *J.Biol.Rhythms* 10 (2):135-147, 1995.
- V. L. Revell, T. A. Molina, and C. I. Eastman. Human Phase Response Curve to Intermittent Blue Light Using a Commercially Available Device. *J.Physiol.*, 2012.
- S. B. Khalsa, M. E. Jewett, C. Cajochen, and C. A. Czeisler. A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *J.Physiol* 549 (Pt 3):945-952, 2003.
- Z. Boulos, S. S. Campbell, A. J. Lewy, M. Terman, D. J. Dijk, and C. I. Eastman. Light treatment for sleep disorders: consensus report. VII. Jet lag. *J.Biol.Rhythms* 10 (2): 167-176, 1995.
- T. Partonen and J. Lonnqvist. Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people. *J.Affect.Disord.* 57 (1-3):55-61, 2000.
- G. W. Lambert, C. Reid, D. M. Kaye, G. L. Jennings, and M. D. Esler. Effect of sunlight and season on serotonin turnover in the brain. *Lancet* 360 (9348):1840-1842, 2002.
- M. Aan Het Rot, D. S. Moskowitz, and S. N. Young. Exposure to bright light is associated with positive social interaction and good mood over short time periods: A naturalistic study in mildly seasonal people. *J Psychiatr. Res.* 2007.
- A. Tuunainen, D. F. Kripke, and T. Endo. Light therapy for non-seasonal depression. *Cochrane. Database.Syst.Rev.* (2): CD004050, 2004.
- R. N. Golden, B. N. Gaynes, R. D. Ekstrom, R. M. Hamer, F. M. Jacobsen, T. Suppes, K. L. Wisner, and C. B. Nemeroff. The efficacy of light therapy in the treatment of mood disorders: a review and meta-analysis of the evidence. *Am.J.Psychiatry* 162 (4):656-662, 2005.
- A. Wirz-Justice, F. Benedetti, and M. Terman. *Chronotherapeutics for Affective Disorders : A Clinician's Manual for Light and Wake Therapy*, Basel:Karger, 2009.
- D. J. Dijk, T. L. Shanahan, J. F. Duffy, J. M. Ronda, and C. A. Czeisler. Variation of electroencephalographic activity during non-rapid eye movement and rapid eye movement sleep with phase of circadian melatonin rhythm in humans. *J Physiol* 505 ( Pt 3):851-858, 1997.
- Hull JT, Wright KP, Jr., Czeisler CA (2003) The influence of subjective alertness and motivation on human performance independent of circadian and homeostatic regulation. *J Biol Rhythms* 18: 329-338.
- D. L. Robilliard, S. N. Archer, J. Arendt, S. W. Lockley, L. M. Hack, J. English, D. Leger, M. G. Smits, A. Williams, D. J. Skene, and Schantz M. von. The 3111 Clock gene polymorphism is not associated with sleep and circadian rhythmicity in phenotypically characterized human subjects. *J.Sleep Res.* 11 (4):305-312, 2002.
- Hommes, V., Meesters, Y., Geerdink, M., Gordijn, M., & Beersma, D. (2014). Blue Light Implemented (pp. 184-197). *Presented at the 8. Symposium Licht und Gesundheit, Berlin.*
- V. Gabel, M. Maire, C. F. Reichert, S. L. Chellappa, C. Schmidt, V. Hommes, A. U. Viola, and C. Cajochen. Effects of artificial dawn and morning blue light on daytime cognitive performance, well-being, cortisol and melatonin levels. *Chronobiol.Int.* 30 (8):988-997, 2013. .
- Gabel, V., Maire, M., Reichert, C. F., Chellappa, S. L., Schmidt, C., Hommes, V., et al. (2013). Effects of Artificial Dawn and Morning Blue Light on Daytime Cognitive Performance, Well-being, Cortisol and Melatonin Levels. *Chronobiology International*, 30(8), 988-997.
- M. C. Gimenez, M. Hessels, Werken M. van de, B. de Vries, D. G. Beersma, and M. C. Gordijn. Effects of artificial dawn on subjective ratings of sleep inertia and dim light melatonin onset. *Chronobiol.Int.* 27 (6):1219-1241, 2010.
- M. V. Werken, M. C. Gimenez, B. D. Vries, D. G. Beersma, E. J. Van Someren, and M. C. Gordijn. Effects of artificial dawn on sleep inertia, skin temperature, and the awakening cortisol response. *J Sleep Res.* 2010.
- K. Obayashi, K. Saeki, J. Iwamoto, N. Okamoto, K. Tomioka, S. Nezu, Y. Ikada, and N. Kurumatani. Positive effect of daylight exposure on nocturnal urinary melatonin excretion in the elderly: a cross-sectional analysis of the HEIJO-KYO study. *J.Clin.Endocrinol.Metab* 97 (11): 4166-4173, 2012.
- Safety guidelines for daily light exposure of people with healthy eyes are defined by the Photobiological Safety Standard IEC62471.
- Wright KP, Jr., McHill AW, Birks BR, Griffin BR, Rusterholz T, Chinoy ED (2013) Entrainment of the Human Circadian Clock to the Natural Light-Dark Cycle. *Curr Biol.* S0960-9822(13)00764-1 [pii];10.1016/j.cub.2013.06.039 [doi].
- For more info on melanopsin and ocular photoreceptors see: R. J. Lucas, S. N. Peirson, D. M. Berson, T. M. Brown, H. M. Cooper, C. A. Czeisler, M. G. Figueiro, P. D. Gamlin, S. W. Lockley, J. B. O'Hagan, L. L. Price, I. Provencio, D. J. Skene, and G. C. Brainard. Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends.Neurosci.* 37 (1):1-9, 2014.
- S. M. Rajaratnam and J. Arendt. Health in a 24-h society. *Lancet* 358 (9286):999-1005, 2001. See also <http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2007/pr180.html>
- K. Straif, R. Baan, Y. Grosse, B. Secretan, F. El Ghissassi, V. Bouvard, A. Altieri, L. Benbrahim-Tallaa, and V. Cogliano. Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol.* 8 (12):1065-1066, 2007.
- J. Arendt. Shift work: coping with the biological clock. *Occup.Med.(Lond)* 60 (1):10-20, 2010.
- S. Puttonen, K. Viitasalo, and M. Harma. The relationship between current and former shift work and the metabolic syndrome. *Scand.J.Work.Enviroin.Health.* 38 (4):343-348, 2012.
- A J. Lewy, V. K. Bauer, S. Ahmed, K. H. Thomas, N. L. Cutler, C. M. Singer, M. T. Moffit, and R. L. Sack. The human phase response curve (PRC) to melatonin is about 12 hours out of phase with the PRC to light. *Chronobiol.Int.* 15 (1):71-83, 1998.
- B. A. Wirz-Justice, K. Krauchi, C. Cajochen, K. V. Danilenko, C. Renz, and J. M. Weber. Evening melatonin and bright light administration induce additive phase shifts in dim light melatonin onset. *J.Pineal Res.* 36 (3):192-194, 2004.
- M. Wittmann, J. Dinich, M. Mew, and T. Roenneberg. Social jetlag: misalignment of biological and social time. *Chronobiol.Int.* 23 (1-2):497-509, 2006.
- T. Roenneberg, K. V. Allebrandt, M. Mew, and C. Vetter. Social Jetlag and Obesity. *Curr.Biol.*, 2012.
- T. Roenneberg, T. Kuehnle, P. P. Pramstaller, J. Ricken, M. Havel, A. Guth, and M. Mew. A marker for the end of adolescence. *Curr.Biol* 14 (24):R1038-R1039, 2004.
- K. Olofsson, C. Alling, D. Lundberg, and C. Malmros. Abolished circadian rhythm of melatonin secretion in sedated and artificially ventilated intensive care patients. *Acta Anaesthesiol.Scand.* 48 (6):679-684, 2004.
- I. Gogenur, U. Ocak, O. Altunpinar, B. Middleton, D. J. Skene, and J. Rosenberg. Disturbances in melatonin, cortisol and core body temperature rhythms after major surgery. *World J.Surg.* 31 (2):290-298, 2007.
- S. Vasquez-Ruiz, J. A. Maya-Barrios, P. Torres-Narvaez, B. R. Vega-Martinez, A. Rojas-Granados, C. Escobar, and M. Angeles-Castellanos. A light/dark cycle in the NICU accelerates body weight gain and shortens time to discharge in preterm infants. *Early Hum.Dev.*, 2014.
- D. Pritchett, K. Wulff, P. L. Oliver, D. M. Bannerman, K. E. Davies, P. J. Harrison, S. N. Peirson, and R. G. Foster. Evaluating the links between schizophrenia and sleep and circadian rhythm disruption. *J.Neural.Transm.*, 2012.
- A. Wirz-Justice. Chronobiology and psychiatry. *Sleep Med.Rev.* 11 (6):423-427, 2007.
- Viola AU, James LM, Schlangen LJM, Dijk DJ (2008) Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scand J Work Environ Health* 34: 297-306.
- DOE: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/light\\_and\\_health\\_fs.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/light_and_health_fs.pdf)
- <http://www.beuth.de/en/technical-rule/din-spec-67600/170956045:DIN SPEC 67600: Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen / Biologically effective illumination – Design guidelines / Effets biologiques de l'éclairage – Conseils de conception>, 2013 April
- P. J. C. Sleegers, N. M. Moolenaar, M. Galetzka, A. Pruyn, B. E. Sarroukh, and B van der Zande. Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies. *Lighting Res.Technol.* 0 (4):1-17, 2012.
- C. Barkmann, N. Wessolowski, and M. Schulte-Markwort. Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiol Behav.* 105 (3):621-627, 2012.
- Fetveit A, Skjerve A, Bjorvatn B (2003) Bright light treatment improves sleep in institutionalised elderly--an open trial. *Int J Geriatr Psychiatry* 18: 520-526.
- Beauchemin KM, Hays P (1996) Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory depressions. *J Affect Disord* 40: 49-51.
- Miller CL, White R, Whitman TL, O'Callaghan MF, Maxwell SE (1995) The effects of cycled versus noncycled lighting on growth and development in preterm infants. *Infant Behavior and Development* 18: 87-95.
- Taguchi T, Yano M, Kido Y (2007) Influence of bright light therapy on postoperative patients: a pilot study. *Intensive Crit Care Nurs* 23: 289-297.
- Walch JM, Rabin BS, Day R, Williams JN, Choi K, Kang JD (2005) The effect of sunlight on postoperative analgesic medication use: a prospective study of patients undergoing spinal surgery. *Psychosom Med* 67: 156-163.
- Giménez MC, Geerdinck LM, Versteylen M, Leffers P, Meekees GJBM, Herremans H, et al. Patient room lighting influences on sleep, appraisal and mood in hospitalized people. *Journal of Sleep Research.* 2016, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jsr.12470/full> ; Maastricht University Medical Center, The Netherlands (Dec. 2009 -Sept. 2010) Controlled clinical trial (ClinicalTrials.gov NCT01504750)
- C. E. Carney, D. J. Buysse, S. Ancoli-Israel, J. D. Edinger, A. D. Krystal, K. L. Lichstein, and C. M. Morin. The consensus sleep diary: standardizing prospective sleep self-monitoring. *Sleep.* 35 (2):287-302, 2012.
- [http://www.lightingeurope.org/uploads/files/Human\\_Centric\\_Lighting\\_general\\_overview\\_September\\_2014.pdf](http://www.lightingeurope.org/uploads/files/Human_Centric_Lighting_general_overview_September_2014.pdf), see also <http://lightingforpeople.eu/lighting-applications/>
- Provencio, I. R. Rodriguez, G. Jiang, W. P. Hayes, E. F. Moreira, and M. D. Rollag. A novel human opsin in the inner retina. *J.Neurosci.* 20 (2):600-605, 2000.
- S. Hattar, H. W. Liao, M. Takao, D. M. Berson, and K. W. Yau. Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science* 295 (5557):1065-1070, 2002.
- D. M. Berson, F. A. Dunn, and M. Takao. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science* 295 (5557):1070-1073, 2002.
- K. P. Wright, Jr., J. T. Hull, R. J. Hughes, J. M. Ronda, and C. A. Czeisler. Sleep and wakefulness out of phase with internal biological time impairs learning in humans. *J Cogn Neurosci.* 18 (4):508-521, 2006.