

1. 緒言

1.1 背景と目的

体内時計は、生体機構に約 24 時間の周期性を与える内因性の自律的な振動体であり、地球の自転による外界の環境変化に同調して生体機能の最適化を担っている¹⁾。その体内時計には、脳の視交叉上核に存在する中枢時計と、それ以外の体の各部（ほぼ全身）に分布する末梢時計がある。この 2 種類の体内時計は、自律神経系やホルモン等の液性因子により連動し、生体にとって最適ナリズムを作り出している^{1,2,3,4,5)}。この体内時計の中枢を担う中枢時計は、視交叉上核に存在する時計遺伝子群より成り、自律的に概日リズムを発振して全身へ時間情報を送っている。また、網膜から伝えられる光の情報をもとに外界の昼夜サイクルに同調する役割もある²⁾。一方、末梢時計は、生殖器官以外のほぼ全身の組織および細胞に存在することが報告されてきた⁶⁾。この末梢時計の中でも、消化・吸収・代謝（異化・同化）に携わる臓器に存在する振動体（24 時間の周期を有する発信機構）は、光よりもむしろ食事による影響を強く受けることが知られている³⁾。とりわけ、肝臓や腸管は、全身の代謝において重要な役割を担うことから、これらの内臓にある体内時計のシステムは、生体の代謝制御への寄与も大きいと考えられる^{4,5)}。

しかし、現代社会では、近年の社会環境の夜型化や IT 機器の目覚ましい発達と普及によって、24 時間の生活リズムが不規則なライフスタイルの蔓延が見られる。このことは、生体の 24 時間のリズムにも影響を及ぼし体内時計の機能異常をもたらす環境的要因となっている。もう一つの要因として、時計遺伝子の変異（一塩基多型）という遺伝的要因による影響も知られているが、環境的要因に比べると、その影響力は比較的小

さいとされている⁷⁾。もう一つの影響は加齢による体内時計の修飾である。ヒトのライフステージのなかで青年期は、睡眠－覚醒リズム位相が最も後退しやすい時期であるという生理的特徴がある^{8,9)}。しかし、このような生理的な要因があるにもかかわらず、青年期では、他の年代に比較してスマートフォンのネット利用時間が全年代中で最も長く¹⁰⁾、夜間のメディア使用によって睡眠時間短縮や就寝時刻遅延が生じやすいことが、国内外で報告されている^{11,12)}。また、スマートフォン等のIT機器からは太陽光に含まれる短波長光（ブルーライト）が発せられることから、夜間のブルーライト曝露は、概日リズム相を遅延させ、体内時計を攪乱する可能性がある¹³⁾。以上のことを総合すると、青年期は、体内時計が社会環境や生活の夜型化の影響をより受けやすいと考えられる。もし青年期に健康問題が生じると、それらは成人後の生活習慣病リスクへとつながっていくため、睡眠－覚醒リズムの顕著な後退による健康への影響を検討することは喫緊の課題である。青年のどのようなライフスタイルが生活リズムに影響を及ぼすのかを探求し、青年期の健康問題の解決の一助につなげたい。そのためにも、体内時計に着目した研究を行い、知見を公表することは、本問題解決に役立つと考えられる。

体内時計変調に関与する要因には、時計遺伝子の変異や多型¹⁴⁾に加え、個人が有するクロノタイプ（個人が持つ朝型－夜型指向性）¹⁵⁾といった遺伝的・体質的な要因が関わっている。また、習慣的に繰り返される生活習慣では、朝食欠食¹⁶⁾や夜間の光曝露¹¹⁾などの因子が関与していることも知られている。しかし、青年を対象とした研究はまだ少なく^{11,17)}、とりわけ生体信号（心拍，血圧，体温，消化器の周期的な動き）を指標として、体内時計の働きの良し悪しを間接的にではあるが評価した研究

は、調べた限りにおいて見当たらなかった。そこで本研究では、中枢時計の制御下で生体調節に関わる心臓自律神経活動を非侵襲的な手法により測定し、中枢の体内時計の働きの一指標に用いた。また、1日周期の食事性同調機構（food-entrainable oscillator：FEO）が胃に存在することや^{6,18)}、摂食予知活動（food anticipatory activity：FAA）が周期的に胃に起こるといった既報があることから^{6,18)}、胃の電氣的活動のうち、1分間に約3回起こる正弦波を胃運動の指標とし、末梢時計（主に胃）の働きの一指標として用いることとした。

以上の背景や知見から、本研究では、“青年期の体内時計変調には、クロノタイプ（朝型－夜型指向性）や夜間の光刺激、ライフスタイル（睡眠－覚醒リズム）が関与する”との仮説を立てた。この仮説の検証のためには、ライフスタイルや居住環境ができるだけ均質的な集団を対象に研究することが望ましいと考えられた。そのため、本研究対象は、山間部にあるA高校の寮で生活する高校生とした。なぜなら、A高校の寮生は、決められたスケジュール（門限、夕食、入浴、自由時間、朝食、登校時刻等）に従って寮内で生活しているため食事時刻の影響（自宅生では3食の食事時刻にばらつきがあり、それが結果に影響する）を排除することが可能であり、加えて、自室でのスマートフォン使用や就寝時刻には若干の自由を有する集団であったため、夜間のブルーライト曝露量の推定が可能であったことが本対象を選んだ理由である。

そこで本研究では、同じ食事時刻や生活規則のもとで寮生活をする高校生を対象として、体内時計（中枢時計）の制御下にある自律神経活動（心拍のゆらぎの解析結果を指標とする）や末梢時計の制御下にある胃運動（胃の電氣的活動を指標とする）をアウトカムとして、朝型－夜型

(食事時刻の影響を排除), 夜間の光(スマートフォンのブルーライト), 睡眠や運動などの生活習慣が及ぼす影響について検討を行った。本博士論文では, 朝型-夜型, 夜間の光刺激, および睡眠の3要因に着目した検討を行ったので, それぞれを研究1, 2, 3としてまとめた。

1.2 本論文の構成

文献レビュー(Review of Literature)は, 本研究と関連の深い先行研究および最近の知見から, 本研究の位置づけを明確にするため行った。

研究1では, 同じ食事時刻, 生活規則のもとで寮生活をしている女子高校生を対象に, 朝型-夜型と起床直後の胃運動, バイタル指標との関連を検討した。

研究2では, 夜間のメディア由来の光刺激を, ある一定の確度で推定することが可能な集団において, スマートフォンの夜間使用時間の影響を起床後間もなくの心臓自律神経活動をアウトカムとして検討した。

さらに, 研究3では, 睡眠-覚醒リズムや運動などのライフスタイルに着目し, 寮生活をしている高校生の朝の体調にどのようなライフスタイルがより強く関与しているのかについて, 生理的指標をメインアウトカムとして検討した。

最後に, 総合考察では, 研究1から研究3で得られた知見をもとに, 青年期の体内時計を変調させる要因である朝型-夜型, 夜間の光, 睡眠の影響について総合的に考察するとともに, 今後どのように青年期の健康に役立てていけばよいのかということについても考察した。加えて研究の限界と新規性, および今後どのような研究が求められるのかについて言及した。

1.3 引用文献

- 1) Ko CH, Takahashi JS. Molecular components of the mammalian circadian clock. *Hum Mol Genet.* 15: 271-277, 2006
- 2) Welsh DK, Takahashi JS, Kay SA. Suprachiasmatic nucleus: cell autonomy and network properties. *Annu. Rev. Physiol.* 72: 551-577, 2010
- 3) Vollmers C, Gill S, DiTacchio L, Pulivarthy SR, Le HD, Panda S. Time of feeding and the intrinsic circadian clock drive rhythms in hepatic gene expression. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 106: 21453-21458, 2009
- 4) Bass J, Takahashi JS. Circadian integration of metabolism and energetics. *Science.* 330: 1349-1354, 2010
- 5) Green CB, Takahashi JS, Bass J. The meter of metabolism. *Cell.* 134: 728-742, 2008
- 6) Mohawk JA, Green CB, Takahashi JS. Central and peripheral circadian clocks in mammals. *Annu Rev Neurosci.* 35: 445-462, 2012
- 7) Valenzuela FJ, Vera J, Venegas C, Muñoz S, Oyarce S, Muñoz K, Lagunas C. Evidences of polymorphism associated with circadian system and risk of pathologies: A review of the literature. *Int J Endocrinol.* 2016: 2746909, 2016
- 8) Andrade MM, Benedito-Silva AA, Domenice S, Arnhold IJ, Menna-Barreto L. Sleep characteristics of adolescents: a longitudinal study. *J Adolesc Health.* 14: 401-406, 1993
- 9) Carskadon MA. Sleep in adolescents: the perfect storm. *Pediatr Clin North Am.* 58: 637-647, 2011
- 10) 総務省：平成 29 年版 情報通信白書．第 1 章スマートフォン経済の

現在と将来. 第1節スマートフォン社会の到来. p. 11, www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/n1100000.pdf (アクセス日 : 2018年8月31日)

- 11) Touitou Y, Touitou D, Reinberg A. Disruption of adolescents' circadian clock: The vicious circle of media use, exposure to light at night, sleep loss and risk behaviors. *J Physiol Paris*. 110: 467-479, 2016
- 12) LeBourgeois MK, Hale L, Chang AM, Akacem LD, Montgomery-Downs HE, Buxton OM. Digital media and sleep in childhood and adolescence. *Pediatrics*. 140: 92-96, 2017
- 13) Chang AM, Aeschbach D, Duffy JF, Czeisler CA. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 112: 1232-1237, 2015
- 14) 海老原史樹文 : 概日リズム概論. 時間生物学 pp. 6-7, 化学同人, 京都, 2012
- 15) 三島和夫 : 睡眠覚醒と生物時計機構との関わり. 睡眠科学 pp. 48-66, 化学同人, 京都, 2016
- 16) 香川靖雄 : 時間栄養学. pp. 12-35, 女子栄養大学出版部, 東京, 2009
- 17) Malone SK, Zemel B, Compher C, Souders M, Chittams J, Thompson AL, Pack A, Lipman TH. Social jet lag, chronotype and body mass index in 14-17-year-old adolescents. *Chronobiol Int*. 11: 1-12, 2016
- 18) LeSauter J, Hoque N, Weintraub M, Pfaff DW, Silver R. Stomach ghrelin-secreting cells as food-entrainable circadian clocks. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 106: 13582-13587, 2009

2. 文献レビュー

Review of Literatures

2.1 概日リズム

2.1.1 概日リズムとは

体内時計による生体の概日リズム制御は、地球上のほぼ全ての生物に認められる基本的な生理機能であり、地球の自転と公転によって生じる昼夜変化や季節変動による日長変化に同調して、生体機能の時間的恒常性を維持している¹⁾。この体内時計は、概ね 24 時間の内因性周期を有しており、生活環境から光や温度などの周期性を除いた恒常的条件下であっても長く持続することが知られている²⁾。体内時計の周期は 24 時間から僅かにずれることから、概日リズムと呼ばれている²⁾。

概日リズムの特性の一つが自律振動性であり、恒常的条件下では約 24 時間の周期で自律的に振動する³⁾。ヒトの概日リズムは 24.5~24.8 時間周期とされているが、時計のない薄暗い部屋に置かれ、食事も不規則に与えられる環境で生活させると、約 24.1 時間の周期で睡眠・覚醒を繰り返したことが報告されている⁴⁾。概日リズムは自律的かつ恒常的な内因性の性質を持つ一方で、外界の光に反応して短時間にリズム位相を変化させる機能も持っており、この機能のお陰で生体は昼夜変化（明暗サイクル）などの環境の周期性に同調（entrain）することができるのである¹⁾。なお、光による明暗サイクル以外にも同調因子（zeitgeber）があり、主には摂食や温度などの因子が知られている⁵⁾。

また、概日リズムは遺伝や環境要因による修飾を受けて変調することや、性差や加齢の影響を受けることも知られている³⁾。遺伝的要因とし

では、時計遺伝子の変異や遺伝子多型により概日リズムの変調が生じることが報告されている^{3,6)}。性差に関しては、体温やメラトニンの概日リズム周期は女性のほうが男性よりも短いことが報告されている⁷⁾。年齢に関しては、高齢者と比較して若年者では、夜間の深部体温低下の程度が大きいことや、加齢により24時間の生体リズムが後退し、リズムの位相の変化が見られることなどが報告されている^{8,9)}。

さらに、概日リズムの位相変化と生活習慣病発症の関連を示す知見もある。例えば「夜型生活」の継続などによって概日リズムの位相変化が起こると、生体の代謝機能がその変化に適応反応を示してしまう。すなわち、概日リズムの変調（乱れ）が栄養素の吸収・代謝・排泄のプロセスの時間的秩序を乱し、肥満や脂質異常症を惹起する可能性が指摘されている¹⁰⁾。実際に、交替制勤務（シフトワーク）や、不眠症、夜間の高照度光曝露などによって、概日リズム異常を来たす者では、メタボリックシンドロームの割合が高いことが報告されている¹¹⁾。

2.1.2 体内時計の機構の概要

ヒトの体内時計は、日々の睡眠覚醒やホルモン分泌、代謝などの生理現象を周期的に制御している。体内時計の分子的基盤に関する知見からは、体内時計（機構）の中枢は脳内視床下部（Hypothalamus）の視交叉上核（Suprachiasmatic nucleus: SCN）に存在する細胞群であり¹²⁾、このSCN細胞には、十数種類の時計遺伝子と呼ばれる遺伝子群が存在し、フィードバックループ形成により生体の概日リズムを生み出していることが明らかにされた^{13,14)}（図2-1）。

一方、SCN以外の脳内組織、心臓、肝臓、肺、腎臓、脂肪組織、消化

器官など，生体内の各臓器には末梢時計が存在し，中枢時計と同様に時計遺伝子群が約 24 時間周期で振動している^{15,16)}。2.1.1 でも述べたように，時計遺伝子は，同調因子と呼ばれる外的要因によって位相を変化させる。中枢時計の同調因子は朝の太陽光であり，末梢時計は周期的な食事や運動といった，光以外の因子に同調することが知られている。その結果，末梢時計は中枢時計とは独立した振動を刻む一方で，中枢時計からのホルモンや神経を介した修正も受ける。したがって，体内時計は，上位の中枢から下位の末梢への階層構造を有するシステムとして機能しているといえる^{1,5)}。以上の中枢時計と末梢時計の同調に関する研究からは，SCN を介した光同調と非光同調が同時に起こると，同調因子の位相が一致している場合は末梢時計のリズム同調が強化されるが，位相が異なると末梢時計は同調作用の強いほうに引き込まれるか，分離するかのどちらかであることが報告されている¹⁷⁾。その反応は組織や臓器によって異なるので，生物全体としての時間的秩序が失われることになる。このことは，内的脱同調（internal desynchronization）と呼ばれ，時差ぼけや社会的時差ぼけ（social jetlag）による体調不良の原因とされている¹⁾。

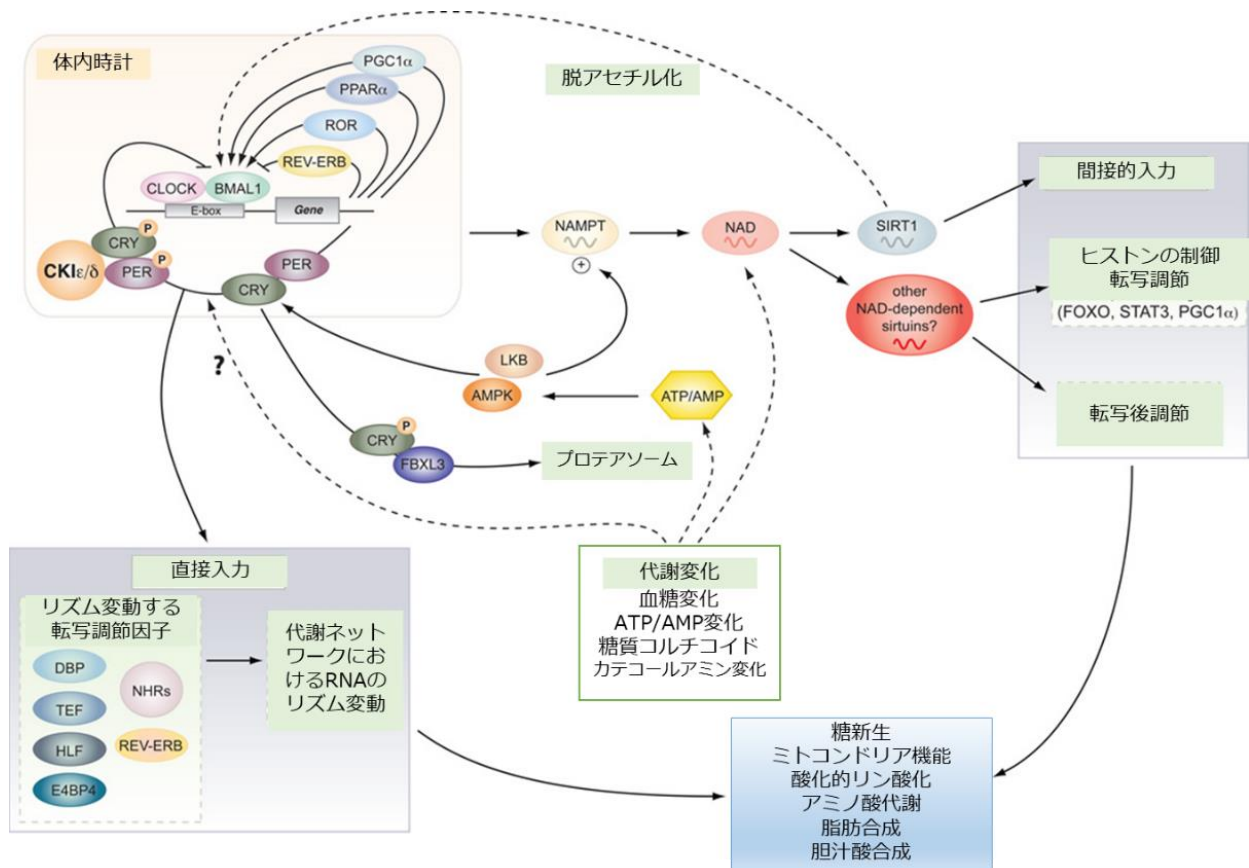


図 2-1 体内時計と代謝の関係図^{10,12)}

2.1.3 体内時計同調因子としての光刺激

光は、ヒトの概日時計システムにおける最も強力な同調因子である^{18,19)}。外界からの光刺激は、目から網膜神経節細胞に伝わり、その信号は、視神経を経て大脳視覚中枢に伝達される。Berson et al.²⁰⁾は、一部の網膜神経節細胞からの信号が SCN に投射する経路を取ることを発見した。続いて Hattar et al.²¹⁾は、ヒトの網膜神経節細胞が 460 nm 前後の短波長光（ブルーライト）に特異的に作用する、新しい光受容体（メラノプシン）を発現していることを明らかにした。このメラノプシンの吸収極大波長は 460~480 nm のブルーライトであり、概日時計の時刻を最も

強力に変化させる太陽光に多く含まれている²²⁾。網膜神経節細胞内においてメラノプシンが見出されたことから、通常環境条件下では、光が SCN の概日システムの主要な同調因子であることが明らかになった^{22,23)}。SCN の中枢時計は、光情報により 24 時間の時刻調節を行うが、その情報は、自律神経系や内分泌系を介して各組織の末梢時計へと伝達され、睡眠・覚醒、体温、ホルモン分泌、自律神経系調節、エネルギー代謝などを含む、生体内の生理学的、行動学的リズムを中枢時計と同調させて恒常性を維持するしくみとなっている^{1,4,5,12,13)}。

太陽光は、概日リズムをシフト、あるいは同調させることで、生体の生理的状态や行動を修飾するだけでなく、脳活動や心血管系の活動、認知パフォーマンス、主観的覚醒レベルにも直接的に影響を及ぼしている²⁴⁾。しかし、24 時間社会といわれ、夜間にも活発な生活活動が行われる社会では、1990 年代に開発された LED (発光ダイオード: light emitting diode) によって、深夜の時間帯に IT 機器のディスプレイや照明を介してブルーライトに曝露される機会が増えることになった。このことは、現代社会において、習慣的に睡眠時間が短縮されやすいことや、睡眠障害の有病率の上昇にも関連しているのではないかと考えられている²²⁾。実際、米国医学研究所は、約 7,000 万人の米国人が、睡眠障害や睡眠不足によって肥満、糖尿病、心臓病、うつ病、脳卒中のリスクが高まっており、健康や安全性へ悪影響を及ぼしていることに懸念を表明している²⁵⁾。

2.1.4 体内時計同調因子としての食事刺激

中枢時計は外界の光周期に同調する。一方、全身に存在する末梢時計、中でも内臓の時計は、食事刺激の影響を強く受けることが知られている¹³⁾。動物（マウス）では、給餌時刻を予知して、給餌前に活動量を増大させる予期行動リズムを形成するとの報告がある^{12,26)}。ヒトでも、規則的な食事リズムによって、消化管の予知活動（food anticipatory activity : FAA）が出現することが知られている^{27,28,29)}。この FAA の状態では、食欲ホルモンの、グレリン分泌量が増加する。そして、摂食により消化管に存在する食事同調性振動体（food-entrainable oscillator : FEO）が摂食に同調して、末梢時計のリズムの位相を前進させる^{26,29)}。とりわけ、長い絶食後の食事である「朝食」が、末梢時計の同調に及ぼす効果が強いことが知られている^{30,31)}。この朝食で得たエネルギー源は、肝臓の末梢細胞で Peroxisome proliferator-activated receptor γ coactivator-1 α （PGC-1 α ）を活性化する³²⁾。この PGC-1 α は、時計遺伝子の転写共活性化因子であり、エネルギー代謝制御と食事リズムによって動く時間遺伝子の両者を統括している^{13,33,34)}。そのため、もし朝食を欠食すると、時計遺伝子の活性が低下し、その後の運動や熱産生が少ない場合には、過剰のエネルギーが脂肪組織で中性脂肪として蓄えられ肥満が誘発されることになる^{32,33)}。実際に、ヒトでも学童期・青年期の、朝食欠食が、小児肥満の要因となりやすいことが複数の研究で支持されている^{35,36)}。時計遺伝子の働きの観点からも、朝食摂取の重要性が示されているといえる。

2.2 青年期と体内時計

2.2.1 青年期の睡眠－覚醒リズムの特徴

青年期における睡眠の特徴に関する一貫した知見として、平日の起床時刻は学校の始業時刻に依存するため、一定の規則性を有するが、平日の就寝時刻は遅いほうにずれやすいことが報告されている^{37,38,39}。また、平日と比較すると、週末では就寝時刻だけでなく、起床時刻までもが後退しやすく、睡眠時間が朝側へと延長する傾向がある^{39,40}。平日と週末の睡眠時間の長さの差は、中学から高校にかけての学年が上がるほど大きくなり、週末の睡眠時間の延長が顕著になる^{39,40,41}。青年期の睡眠－覚醒リズムの後退、夜型化しやすい特徴は他のどの年代よりも顕著であることが知られている^{37,42,43,44}。

以上は、疫学的な知見であるが、発達学的な観点から青年期の睡眠－覚醒リズムについてみると、まず、青年期の概日リズムの発達的变化は入眠時刻の後退によって示されている⁴⁰。Andrade et al.⁴⁰は、青年期における1年間の縦断的研究を行い、睡眠と性成熟を表すTanner分類との関連を検討し、青少年の年齢が上がるにつれて睡眠－覚醒リズムが後退することを明らかにした。Carscadon et al.⁴⁵は、全米の思春期男女458名を対象とした横断的研究から、女子では、夜型傾向であるほど性成熟が進行していることを明らかにした。Carscadon et al.は、さらにフォローアップ研究⁴⁶を行い、概日リズム位相（メラトニン分泌開始時刻、DLMO）とTanner分類指標との間に有意な相関が認められ、性成熟が進行するほど位相が後退することを報告した。この青年期の概日リズム位相後退はヒトだけではなく、いくつかの哺乳動物種でも同様に見られるため⁴⁷、生物学的過程によって生じる発達的变化ではないかと考えられ

ている。

では、なぜ、青年期では位相後退が起こりやすいのだろうか。そのメカニズムの一つとして、メラトニン分泌に対する光の影響が挙げられる。Tanner 分類で未成熟と判定される思春期の被験者グループでは、夜間のわずかな光曝露でもメラトニン分泌の抑制が起こることが報告されている⁴⁸⁾。また、ヒトの概日リズム調節機構は、年代によって光の位相同調作用に対して異なった感度を示すが、幼児期に比べると青年期では、光の位相後退作用がより高い感度を示すことが知られている⁴⁷⁾。つまり、青年期では、夜の光によるメラトニン分泌抑制によって位相が遅延しやすく、かつ、朝の光による位相前進はしにくいということになる⁴⁹⁾。このように、青年期の行動的特徴として、夜間時間帯への覚醒延長がみられることから、光による概日リズム形成への影響を、他の年代よりも顕著に受けやすいと考えられている⁹⁾ (表 2-1)。

表 2-1 青少年の睡眠－覚醒リズム

Year	Journal	Nation	Authers	Number	Age	Male (%)	Results
1993	Adolesc Health	Brazil	Andrade MM ⁴⁰⁾	66	12-16	51.5	平日と比較すると、週末は就寝時刻が1時間、覚醒時刻が3時間遅れ、睡眠時間は週末に1~1.5時間長くなった。
1993	Sleep	USA	Carskadon MA ⁴⁵⁾	458	11-12	40	男女ともに、平日の就寝時間は Tannar 分類と有意に関連し、得点が高くなると就寝時刻が遅くなった。
1997	J Biol Rhythms	USA	Carskadon MA ⁴⁶⁾	19	11.2-14.4	52.6	メラトニン分泌の概日相は、年齢や Tannar 分類と有意に相関した。
2005	Pediatrics	Korea	Yang CK ³⁹⁾	1459	5-12	52.9	平日と休日ともに、学年が上がるにつれ就寝時刻が遅くなり、日中の眠気、睡眠/覚醒習慣の問題、抑うつ気分、夜型指向性を示す傾向も強まった。
2010	Sleep	Australia	Olds T ³⁸⁾	4032	9-18	48.9	平日の就寝時刻は年齢が上がるにつれて遅延し、その影響で休日の睡眠時間が延長していた。
2013	J Clin Sleep Med	USA	Gradisar M ³⁷⁾	1508	13-64	50	若年成人の睡眠パターンは、平日と週末の両方ともに、他の年齢層より有意に遅かった。
2015	J Clin Endocrinol Metab	Australia	Crowley SJ ⁴⁸⁾	67	9.1-15.9	56.7	Tannar 分類前期群では、夜間の光曝露でメラトニン抑制が有意に高い。しかし、朝のメラトニン抑制に発達群間に差はなかった。

2.2.2 青年期における朝型－夜型

ヒトの概日リズムには、個人差があり、睡眠や活動にも個人により時間的指向性が異なることが知られている。この代表的な個人的特性が、クロノタイプ（日周指向性）と呼ばれるものである⁵⁰⁾。

クロノタイプは、個人の生物時計機能と関連しており、睡眠－覚醒リズムの表現型である朝型－夜型と強く連動している⁵¹⁾。一般的に朝型では、メラトニン^{52,53)}、コルチゾール⁵⁴⁾、深部体温^{52,55,56)}などの生理機能のリズム位相が睡眠時間帯に対して相対的に前進しており、夜型では後退している。従って、夜型のヒトではメラトニン分泌量が少ない時間帯で就床することになるため、入眠困難が生じやすいとされる⁵⁵⁾。そのため、夜型は、入眠や覚醒時刻の遅れ^{40,55,56)}、睡眠時間短縮^{57,58)}が見られやすいクロノタイプであるといえる。これまでに、10代の男女1,747名を対象とした研究⁵⁹⁾から、夜型指向性の高校生男女（男315名、女427名、平均年齢17.1歳）では、朝型指向性の高校生男女（男451名、女554名、平均年齢16.8歳）よりも日中の眠気が強く、学業成績が低いなどの特徴と関連していたことが報告されている。加えて、夜型は、不眠症^{60,61)}、双極性障害⁶²⁾、うつ病^{61,63)}、抑うつや不安などの否定的感情^{59,60)}などの精神面にも影響を及ぼすことが報告されている。

クロノタイプの判定方法のひとつが質問紙法であり、そのスコアは一定数以上のデータをサンプリングすると正規分布に従う連続変数として示される⁵¹⁾。クロノタイプを判定するための代表的な質問紙の一つに、Horne&Ostberg⁶⁴⁾によって発表された朝型－夜型質問紙（Momingness/eveningness Questionnaire：MEQ）がある。この質問紙は、個人の自発的な「朝型」と「夜型」（朝型－夜型指向性）を簡便に判定で

きる 19 項目の質問で構成されている。日本では、妥当性が検討された、石原ら⁶⁵⁾が翻訳した日本語版朝型－夜型質問紙（日本語版-MEQ）も開発されている。本研究では、後者の朝型－夜型質問紙（MEQ）を用いたが、その理由は、成人対象の用語（例：勤務）が用いられていた質問紙を、児童生徒に理解しやすい表現（例：学校）に改変されていることや、小児～青年期を対象とした研究で信頼性と妥当性が検討済みであったためである。本質問紙のオリジナルバージョンを以下、英語版質問紙（Morningness/eveningness scale for children : MES-C）⁴⁵⁾（図 2-2）、石原ら⁶⁶⁾が邦訳した質問紙を日本語版 MES-C⁶⁷⁾と記す。MES-C は、理想とする起床・就床時刻、運動やテスト受験には、1 日のうちでどの時間帯を選びたいかという希望生活時間の選択、早朝や夜間の時間帯における自分の体調やパフォーマンスの予測等に関する 10 項目の質問で構成されている。各項目に配点されたスコアの合計は、10～43 点の範囲にあり、標準値はないが、集団の中でスコアが高いほど朝型傾向、低いほど夜型傾向と評価される。

この MES-C を用いた既報としては、Carskadon et al.⁴⁵⁾が、11～12 歳の男女（男 183 名、女 275 名）の MEQ 得点と平日・休日の就寝、起床時刻との間に、負の相関があることを報告している。その後、Koscec et al.⁶⁸⁾の研究では、1 週間ごとに午前と午後の 2 交代制で授業が行われるクロアチアの学校に通学する 11～18 歳の男女 2,287 名（女子 52%）で、信頼性と妥当性が検討されたクロアチア版 MES-C を用いて MEQ 得点と睡眠パターンとの関連を検討し、夜型の睡眠不規則性が最も高くなることを報告した。また、Collado et al.⁶⁹⁾は、12～16 歳の青年男女（男 1,361 名、女 1,303 名）にスペイン版 MES-C を用いて、朝型－夜型と睡眠習慣

との関連を検討し、夜型の青年は、起床と就寝時刻が遅くなることや、睡眠時間が平日に短縮するが週末には延長することを報告している。

個人のクロノタイプの決定には時計遺伝子多型などの多因子遺伝子的要因^{70,71)}のほか、性別⁴⁴⁾、年齢^{43,57)}、地理的要因⁷²⁾などの後天的要因が関わっている。クロノタイプの決定には環境要因よりも遺伝的要因がより大きいとの主張もあるが⁷³⁾、一定の見解には至っていない。

<p>1*. Imagine: School is canceled! You can get up whenever you want to. When would you get out of bed? Between...</p> <p>a. 5:00 and 6:30 am b. 6:30 and 7:45 am c. 7:45 and 9:45 am d. 9:45 and 11:00 am e. 11:00 am and noon</p>	<p>6*. Guess what? Your parents have decided to let you set your own bedtime. What time would you pick? Between...</p> <p>a. 8:00 and 9:00 pm b. 9:00 and 10:15 pm c. 10:15 pm and 12:30 am d. 12:30 and 1:45 am e. 1:45 and 3:00 am</p>
<p>2. Is it easy for you to get up in the morning?</p> <p>a. No way! b. Sort of c. Pretty easy d. It's a cinch</p>	<p>7. How alert are you in the first half hour you're up?</p> <p>a. Out of it b. A little dazed c. Okay d. Ready to take on the world</p>
<p>3*. Gym class is set for 7:00 in the morning. How do you think you'll do?</p> <p>a. My best! b. Okay c. Worse than usual d. Awful</p>	<p>8*. When does your body start to tell you it's time for bed (even if you ignore it)? Between...</p> <p>a. 8:00 and 9:00 pm b. 9:00 and 10:15 pm c. 10:15 pm and 12:30 am d. 12:30 and 1:45 am e. 1:45 and 3:00 am</p>
<p>4*. The bad news: You have to take a two-hour test. The good news: You can take it when you think you'll do your best. What time is that?</p> <p>a. 8:00 to 10:00 am b. 11:00 am to 1:00 pm c. 3:00 to 5:00 pm d. 7:00 to 9:00 pm</p>	<p>9. Say you had to get up at 6:00 am every morning. What would it be like?</p> <p>a. Awful! b. Not so great c. Okay (if I have to) d. Fine, no problem</p>
<p>5*. When do you have the most energy to do your favorite things?</p> <p>a. Morning! I'm tired in the evening b. Morning more than evening c. Evening more than morning d. Evening! I'm tired in the morning</p>	<p>10*. When you wake up in the morning how long does it take for you to be totally "with it"?</p> <p>a. 0 to 10 minutes b. 11 to 20 minutes c. 21 to 40 minutes d. More than 40 minutes</p>

図 2-2 英語版質問紙 (MES-C)⁴⁵⁾

2.2.3 青年期における IT 機器利用

LED は、高いエネルギー効率を有し、従来の照明デバイスと比較して長期使用や小型化が可能であるため、世界中で使用が増加している光源である。LED をバックライトとして画面に使用している電子機器には、パーソナルコンピュータや液晶テレビ、スマートフォン、携帯電話、携帯ゲーム機などがあり、それらの液晶画面からはブルーライトが発せられている⁷⁴⁾。

総務省の調査によると、テレビ、パーソナルコンピュータ、スマートフォン、タブレットといった液晶を使用した電子機器の普及率は年々上昇傾向にある⁷⁵⁾。中でも、スマートフォンについてみると、その保有率は国民全体の 60.2%で、アメリカ、イギリス、ドイツ、韓国、中国を含む 6 か国中 2016 年現在で最も低く、国際的には高いレベルではないようである⁷⁶⁾。しかし、国民の年代別にスマートフォンの個人保有率をみると、20 代で 94.2%、30 代で 90.4%、次いで 13 歳～19 歳で 81.4%と青年期で高率である⁷⁵⁾。加えて、10 代ではスマートフォンの使用時間が長いというデータもあり、その内訳は、ソーシャルメディアの利用時間や動画投稿・共有サイトを見る時間が、他の世代と比較して、長い傾向がある⁷⁵⁾。しかも、この傾向は休日になるとより顕著である⁷⁵⁾。

このように液晶を有する電子機器の長時間使用は、青年期の健康にどのような影響を及ぼすのだろうか。青年期において、電子メディア（スマートフォン）やインターネット、ゲームの使用と睡眠については多くの報告がある。特に、スマートフォンの過剰使用や、スマートフォンで行うゲームが青少年の睡眠に影響を及ぼしていることは重要な社会的な問題であり、世界中の青年でスマートフォン使用が劇的に増加したこと

に関連する大きな健康上の懸念となっている⁷⁷⁾。過剰なスマートフォン使用により中毒的症狀を起こす、いわゆるスマートフォン中毒の危険因子には、性（女性）⁷⁸⁾、夜型生活⁷⁹⁾、インターネット使用⁷⁸⁾、アルコール飲用⁷⁸⁾及び不安感情⁷⁸⁾などが挙げられている。中毒症狀にまで至らない場合でも、過度の携帯電話やスマートフォン使用は、就寝時刻の遅延、睡眠時間の短縮、日中の過眠や頭痛等を主訴とする睡眠障害を惹き起こす可能性が指摘されている^{80,81,82,83)}。

2.2.4 青年期における、ブルーライトの体内時計と睡眠への影響

太陽光に含まれるブルーライトは、日中の曝露では脳が覚醒し、身体が活動状態になる働きを有する。一方、夜間ではブルーライトの曝露量が減少することにより、メラトニンの分泌を介して睡眠を導くことが知られている^{23,51)}。このように、ブルーライトは概日リズムの発現において重要な役割を担っているといえる。従って、バックライトや照明のブルーライトの夜間曝露は、体内時計を乱す因子の一つになり得ると考えられる⁸⁴⁾。既報の、若年成人男性 10 名を対象にした実験からも、1 週間連続で就寝前に太陽光と同じ短波長光に 2 時間曝露すると、深部体温や心拍数を上昇させ、メラトニン分泌抑制が起こることにより眠気を低下させることが報告されている⁸⁵⁾。また、若年成人 12 名（男性 6 名）を対象とした電子書籍を光源とした実験からは、5 日間連続して就寝前 4 時間の読書をする、電子書籍の読書は、紙の書籍の読書と比較してメラトニン抑制率が増加し、翌日の DLMO 概日相が、紙の書籍の読書より約 1.5 時間遅延したことが示された⁸⁶⁾。さらに、この実験では、就寝前のブルーライト曝露が、メラトニン分泌を抑制させて眠気を減少させる

だけではなく、朝の覚醒レベルを低下させ、翌日の眠気を誘発することも報告されている^{86,87)}。対照的に、ブルーライトを遮るブルックカー眼鏡を用いた実験では、男子高校生 13 名に眼鏡を着用させて就寝前 3 時間コンピューター画面を見せると、メラトニン分泌抑制が減衰し、就寝前に眠気が起こることが報告されている⁸⁸⁾。

以上をまとめると、青年期では、生理的に夜型化しやすいという発達上の特徴に加えて、現代の社会環境の夜型化や IT 機器の発達と長時間使用という複数の要因が、青年期の概日リズム変調に関わっているといえる^{89,90)}。

2.3 生体の生理学的機能の評価方法

2.3.1 心臓自律神経活動

自律神経活動の評価方法として用いられる心拍変動パワースペクトル解析は、心電図で測定した自律神経活動を交感神経活動と副交感神経活動に分離して定量化する方法である^{91,92)}。各自律神経活動指標の算出方法については以下のとおりである。まず、血圧測定後に1 kHzで10分間サンプリングした心電図の波形より得たR-R間隔の8分間の連続データ(図2-3・A)を高速フーリエ変換して各周波数に分離する。次に、分離して得られたパワースペクトルの各周波数帯域の面積(パワー)を算出し、Matsumoto et al.^{93,94)}の方法に基づき心臓自律神経活動を定量する(図2-3・B)。その結果、パワースペクトルの周波数帯域のうち、0.007-0.035 Hzを体温・熱産生に関与する交感神経活動として報告されている超低周波数帯域(Very-low-frequency Power, VLF Power)、0.035-0.15 Hzを主に交感神経活動(一部に副交感神経活動を含む)を反映する低周波数帯域(Low-frequency Power, LF Power)、0.15-0.5 Hzは副交感神経活動を反映する高周波数帯域(High-frequency Power, HF Power)として定量する。加えて、0.07-0.5 Hz間の総和(Total Power)を総自律神経活動として、各周波数帯域の積分値をパワーとして求め、評価に用いた^{91,92,93,94,95)}。

心血管の組織や細胞には多くの時計遺伝子が存在し、概日リズムを刻んでいるが⁹⁶⁾、この末梢時計は、心血管機能の調整にも影響を及ぼしている⁹⁷⁾。Bartness et al.⁹⁸⁾は、神経・内分泌連関はSCN(Suprachiasmatic nucleus)によって制御されており、末梢組織の自律神経活動もまたその支配下にあることを明らかにした。また、Scheer et al.⁹⁹⁾は、解剖組織学的手法により、ラットのSCNと心臓との自律神経系連絡路を探索した。

その結果、SCN から心臓への多シナプス自律調節が存在することを実証し、ニューロン機構が媒介して、SCN が心臓に影響を与えていることを示唆した。こうして機能と解剖の立場からの研究が繋がり、現在では、SCN が視床下部の働きを統制し、心拍や心拍変動などの心血管系機能も調節していると考えられている¹⁰⁰⁾ (図 2-3)。さらに、時間医学研究では、リズム解析の一つとして時系列の周期を定量的に評価するスペクトル解析が用いられている¹⁰¹⁾。

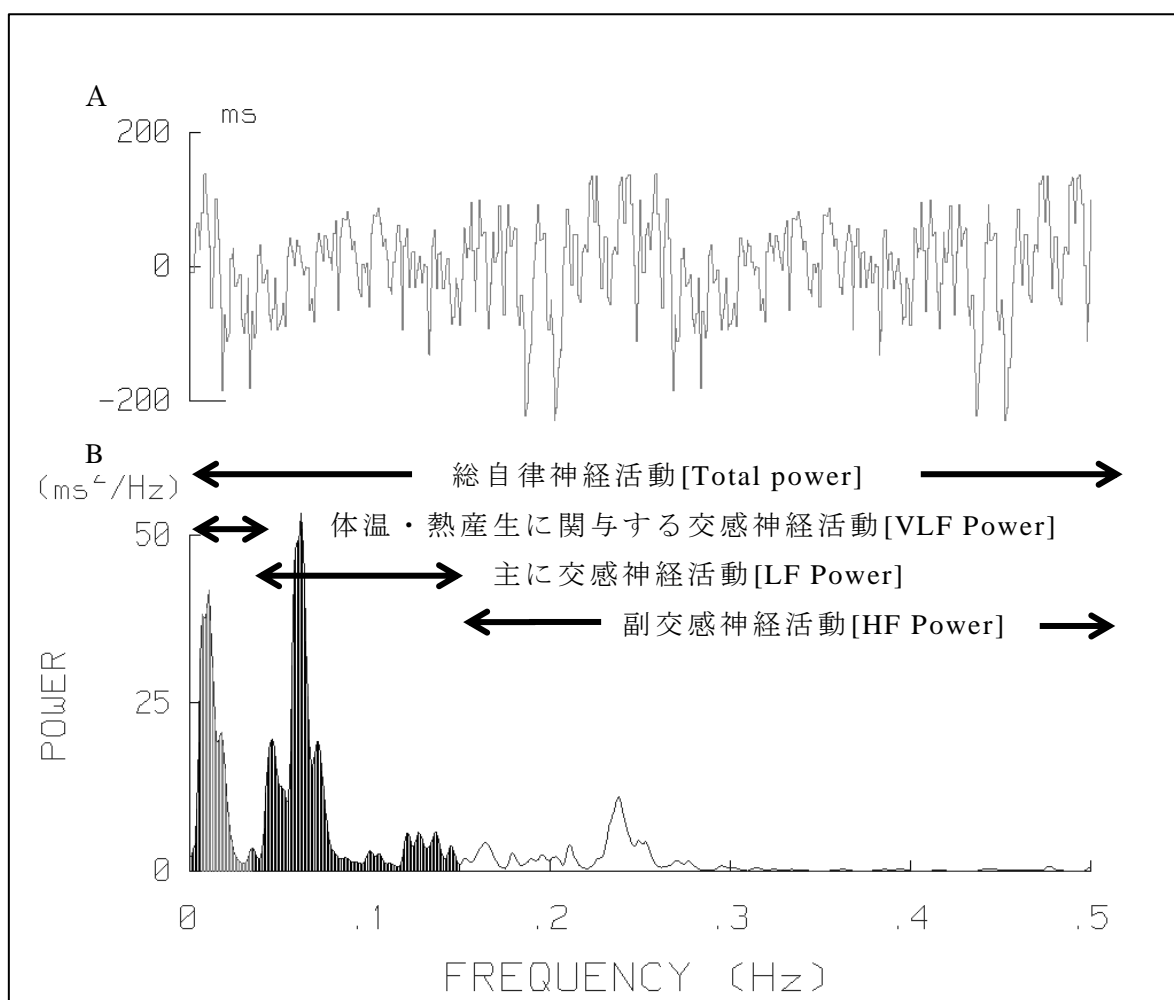


図 2-3 心拍変動パワースペクトル解析^{91,92,93,94,95)}

A : 8 分間の心電図 R-R 間隔の連続データ。

B : A の連続データを高速フーリエ変換により求めたパワースペクトル。

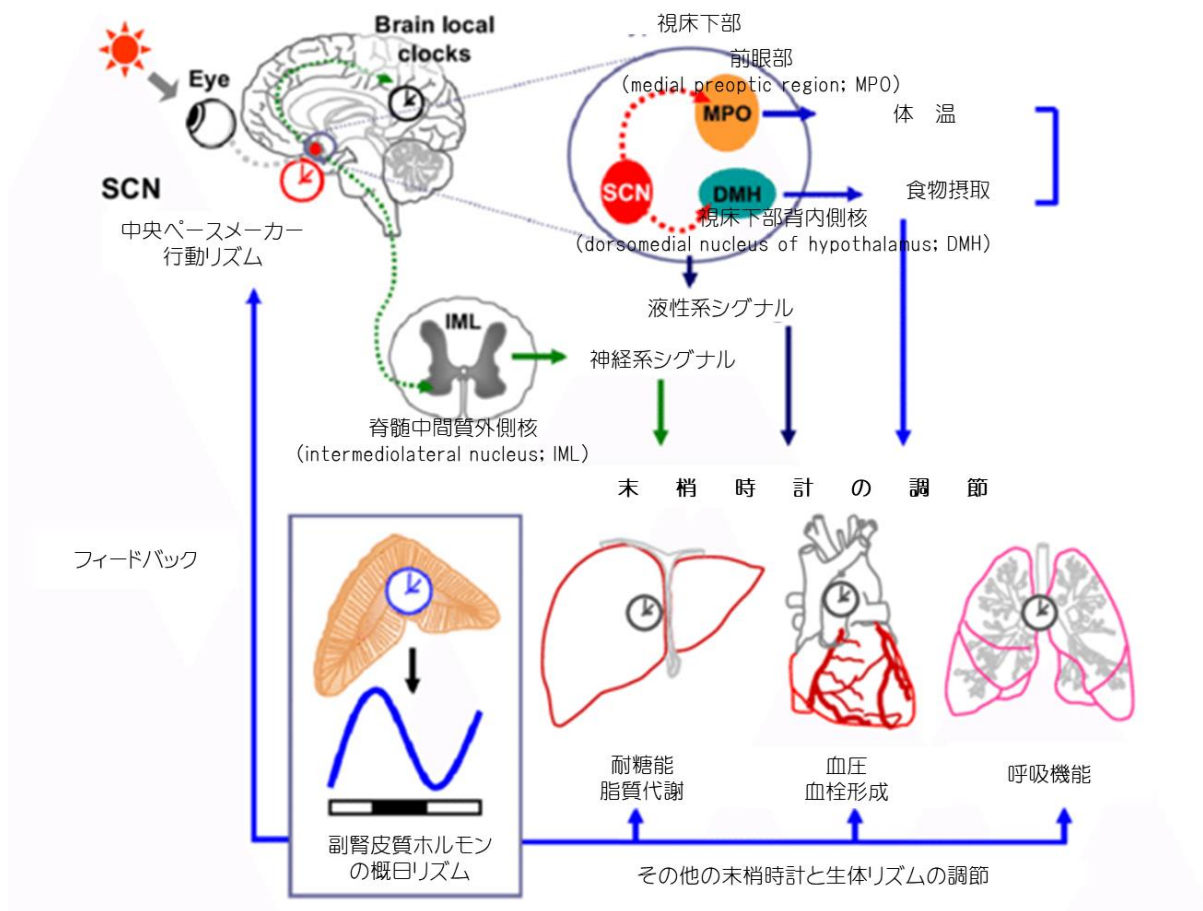


図 2-4 SCN の末梢時計調節機構^{100,101)}

2.3.2 胃の電氣的活動

胃運動の評価方法として用いられる胃電図 (EGG: electrogastrography) は、非侵襲的に胃の筋電活動を測定する方法である。腹壁の体表面に装着した電極から経皮的に胃平滑筋の電気活動を誘導する^{102,103,104,105)}。

胃の電氣的活動の測定は、我々が独自に開発した胃電図測定システムと解析プログラムを用いて、胃体上部大彎側のペースメーカー細胞より発生する脱分極・再分極を導出・解析した^{106,107)}。具体的には、腹壁に配置した電極¹⁰⁸⁾から得られた信号を生体用アンプ (EGG Amplifier, Biotex, 京都) を用いて混入した心電図とノイズを除去し、選択導出し

た信号を 1,000~2,000 倍に増幅し、A/D 変換 (DAQ AD135, Germany) したデータをコンピューターのハードディスクに保存した。保存された時系列データを、HTBasic (Trans Era, Utah, USA) で作成されたプログラムで高速フーリエ変換し、パワースペクトルを求めた^{106,107,108})。胃運動の評価は、既報¹⁰⁹⁾に基づく方法で、正常波 (2~4 cpm) の周波数帯域のスペクトル積分値を算出して求めたパワーと、この正常波のピーク周波数から求めた正常波出現頻度を用いた。正常波パワーは胃運動の強さを表す指標、正常波出現頻度は 1 分間に約 3 回出現する胃運動の頻度 (収縮の速度を反映) の指標とした^{106,107,108,109,110})。

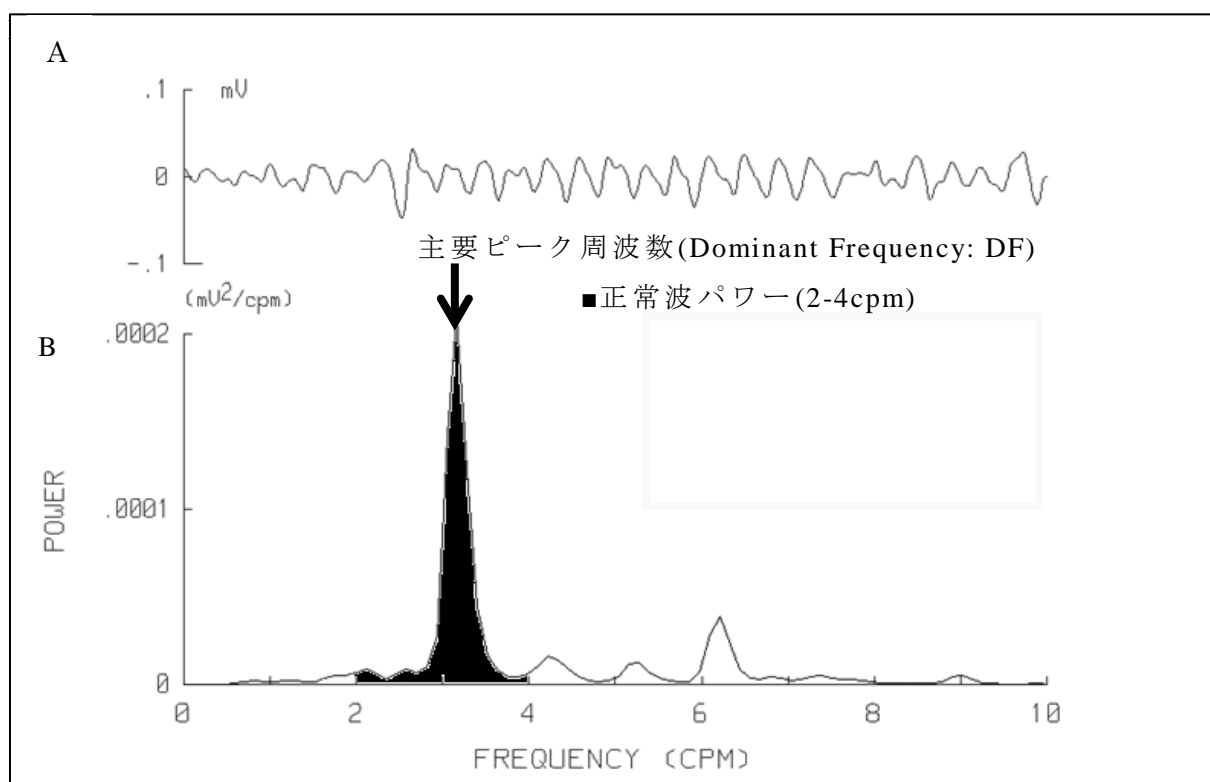


図 2-5 胃運動のパワースペクトル解析

A : サンプルした胃電図生波形。健常者では通常 1 分間に約 3 回 (3cpm) の正常波が記録される。

B : A の連続データを高速フーリエ変換により求めたパワースペクトル。

2.3.3 深部体温指標としての鼓膜近似温，および末梢体温

体温は、既報¹¹¹⁾の測定部位を参考に深部体温の指標として鼓膜近似温（以下，“耳内温”とする）の測定を行った。耳内温は、深部体温の一つである脳温に近く、体温調節中枢の温度変化を正確に反映するため臨床上有用な指標である¹¹²⁾。しかし、直接鼓膜に触れずに測定できる市販の耳式体温計は赤外線センサーと温度センサーの差の情報を演算する測定値を用いていることから実測値ではない¹¹²⁾。そこで、温度センサーを直接鼓膜に接着させることなく外気温の影響も排除できる方法で測定した。本方法は、耳栓で閉塞した耳内平衡温度を高感度サーモセンサーで測定した⁹³⁾。具体的には、水泳競技用の耳栓の内側に高感度サーモセンサーを設置した耳栓式サーミスタ温度プローブ（日機装サーモ株式会社，東京）を被験者の左耳に装着し、耳腔内温度が平行に達した時点を近似の耳内温とした。測定データは、10秒間隔でコンピューターハードディスクに記録し、1分間隔の平均値を求めた。

体内時計の制御下で、睡眠－覚醒リズムとその他の多様な生理機能リズムが適切な相互位相関係を維持しながら日内変動を形成することは、良質な睡眠と日中の高い覚醒度を保つために重要である¹¹³⁾。深部体温リズムと睡眠は一定の位相関係を持ち、深部体温の下降相に睡眠が始まり最低体温直後の上昇相にかけて覚醒する^{113,114)}（図 2-6）。この体温調節反応は、睡眠恒常性および睡眠リズムの両面に深い機能的関連を有していることが知られている。

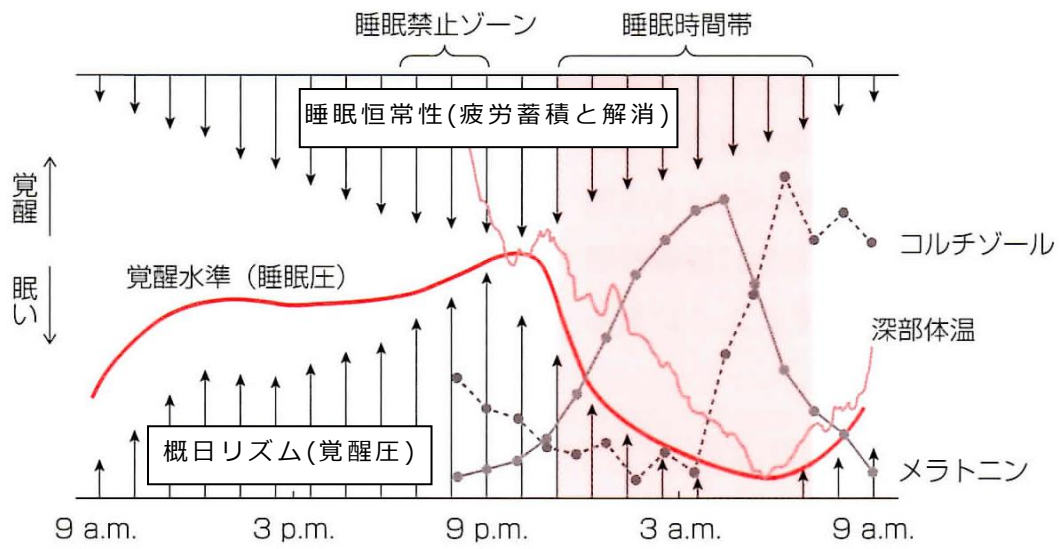


図 2-6 生物時計と睡眠恒常性による睡眠・覚醒調節モデル^{51,114)}

引用文献

- 1) 本間研一：生物時計－その機能と構造．ブルーライトテキストブック pp.110-116, 金原出版株式会社, 東京, 2016
- 2) 本間研一：生体リズムと脳．BME 14: 13-20, 2000
- 3) 海老原史樹文：概日リズム概論．時間生物学 pp. 6-7, 化学同人, 京都, 2012
- 4) 柴田重信：時間栄養学に基づく生活習慣病予防．日本体質医学学会雑誌 76: 113-118, 2014
- 5) 柴田重信：時間栄養学の現状とこれから．日本家政学会誌 63: 337-341, 2012
- 6) 上田泰己：時計遺伝子．時間生物学 pp. 67-79, 化学同人, 京都, 2012
- 7) Duffy JF, Cain SW, Chang AM, Phillips AJ, Münch MY, Gronfier C, Wyatt JK, Dijk DJ, Wright KP Jr, Czeisler CA. Sex difference in the near-24-hour intrinsic period of the human circadian timing system. Proc Natl Acad Sci U S A. 108: 15602-15608, 2011
- 8) Duffy JF, Dijk DJ, Klerman EB, Czeisler CA. Later endogenous circadian temperature nadir relative to an earlier wake time in older people. Am J Physiol. 275: 1478-1487, 1998
- 9) 北村真吾：睡眠の発達と加齢．睡眠科学 pp. 239-251, 化学同人, 京都, 2016
- 10) 柴田重信：概日リズムと代謝．時間生物学 pp. 91-102, 化学同人, 京都, 2012
- 11) 柴田重信：体内時計が栄養・食物摂取に及ぼす影響．体内時計の科学と産業応用 pp. 98-104, シーエムシー出版, 東京, 2011

- 12) Bass J, Takahashi JS. Circadian integration of metabolism and energetics. *Science*. 330: 1349-1354, 2010
- 13) Mohawk JA, Green CB, Takahashi JS. Central and peripheral circadian clocks in mammals. *Annu Rev Neurosci* 35: 445-462, 2012
- 14) 中村孝博：視交叉上核．ブルーライトテキストブック pp. 117-125, 金原出版株式会社, 東京, 2016
- 15) Hara R, Wan K, Wakamatsu H, Aida R, Moriya T, Akiyama M, Shibata S. Restricted feeding entrains liver clock without participation of the suprachiasmatic nucleus. *Genes Cells*. 6: 269-278, 2001
- 16) Pando MP, Morse D, Cermakian N, Sassone-Corsi P. Phenotypic rescue of a peripheral clock genetic defect via SCN hierarchical dominance. *Cell*. 110: 107-117, 2002
- 17) Yamazaki S, Numano R, Abe M, Hida A, Takahashi R, Ueda M, Block GD, Sakaki Y, Menaker M, Tei H. Resetting central and peripheral circadian oscillators in transgenic rats. *Science*. 288: 682-685, 2000
- 18) Czeisler CA. Perspective: casting light on sleep deficiency. *Nature*. 497: 13, 2013
- 19) Czeisler CA, Gooley JJ. Sleep and circadian rhythms in humans. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol*. 72: 579-597, 2007
- 20) Berson DM, Dunn FA, Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*. 295: 1070-1073, 2002
- 21) Hattar S, Liao HW, Takao M, Berson DM, Yau KW. Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science*. 295: 1065-1070, 2002

- 22) Cajochen C. Out of sight: light effects on human behavior and physiology.
ブルーライトテキストブック pp. 158-164, 東京, 2016
- 23) 羽鳥恵 : ブルーライト研究と概日時計との関わり . ブルーライトテキストブック pp. 146-151, 金原出版株式会社, 東京, 2016
- 24) Cajochen C. Alerting effects of light. *Sleep Med Rev.* 11: 453-464, 2007
- 25) Colten HR, Altevogt BM. (eds) *Sleep disorders and sleep deprivation: An unmet public health problem.* National Academies Press, 2006
- 26) 柴田重信 : 食事と時計 . ブルーライトテキストブック pp. 132-138, 金原出版株式会社, 東京, 2016
- 27) Konturek PC, Brzozowski T, Konturek SJ. Gut clock: implication of circadian rhythms in the gastrointestinal tract. *J Physiol Pharmacol.* 62: 139-150, 2011
- 28) Hoogerwerf WA, Hellmich HL, Cornélissen G, Halberg F, Shahinian VB, Bostwick J, Savidge TC, Cassone VM. Clock gene expression in the murine gastrointestinal tract: endogenous rhythmicity and effects of a feeding regimen. *Gastroenterology.* 133: 1250-1260, 2007
- 29) LeSauter J, Hoque N, Weintraub M, Pfaff DW, Silver R. Stomach ghrelin-secreting cells as food-entrainable circadian clocks. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 106: 13582-13587, 2009
- 30) Tahara Y, Shibata S. Chronobiology and nutrition. *Neuroscience.* 253: 78-88, 2013
- 31) Shibata S, Tahara Y, Hirao A. The adjustment and manipulation of biological rhythms by light, nutrition, and abused drugs. *Adv Drug Deliv Rev.* 62: 918-927, 2010

- 32) 香川靖雄: 時間栄養学. pp. 12-35, 女子栄養大学出版部, 東京, 2011
- 33) Green CB, Takahashi JS, Bass J. The meter of metabolism. *Cell*. 134: 728-742, 2008
- 34) Liu C, Li S, Liu T, Borjigin J, Lin J D. Transcriptional coactivator PGC-1alpha integrates the mammalian clock and energy metabolism. *Nature*. 447: 477-481, 2007
- 35) de Castro JM. When, how much and what foods are eaten are related to total daily food intake. *Br J Nutr*. 102: 1228-1237, 2009
- 36) Mesas AE, Muñoz-Pareja M, López-García E, Rodríguez-Artalejo F. Selected eating behaviours and excess body weight: a systematic review. *Obes Rev*. 13: 106-135, 2012
- 37) Gradisar M, Wolfson AR, Harvey AG, Hale L, Rosenberg R, Czeisler CA. The sleep and technology use of Americans: findings from the National Sleep Foundation's 2011 Sleep in America poll. *J Clin Sleep Med*. 9: 1291-1299, 2013
- 38) Olds T, Maher C, Blunden S, Matricciani L. Normative data on the sleep habits of Australian children and adolescents. *Sleep*. 33: 1381-1388, 2010
- 39) Yang CK, Kim JK, Patel SR, Lee JH. Age-related changes in sleep/wake patterns among Korean teenagers. *Pediatrics*. 115: 250-256, 2005
- 40) Andrade MM, Benedito-Silva AA, Domenice S, Arnhold IJ, Menna-Barreto LJ. Sleep characteristics of adolescents: a longitudinal study. *Adolesc Health*. 14: 401-406, 1993
- 41) Olds T, Blunden S, Petkov J, Forchino F. The relationships between sex, age, geography and time in bed in adolescents: a meta-analysis of data from

- 23 countries. *Sleep Med Rev.* 14: 371-378, 2010
- 42) Foster RG, Roenneberg T. Human responses to the geophysical daily, annual and lunar cycles. *Curr Biol.* 18: 784-R794, 2008
- 43) Roenneberg T, Kuehnle T, Pramstaller PP, Ricken J, Havel M, Guth A, Merrow M. A marker for the end of adolescence. *Curr Biol.* 14: 1038-1039, 2004
- 44) Roenneberg T, Kuehnle T, Juda M, Kantermann T, Allebrandt K, Gordijn M, Merrow M. Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Med Rev.* 11: 429-438, 2007
- 45) Carskadon MA, Vieira C, Acebo C. Association between puberty and delayed phase preference. *Sleep.* 16: 258-262, 1993
- 46) Carskadon MA, Acebo C, Richardson GS, Tate BA, Seifer R. An approach to studying circadian rhythms of adolescent humans. *J Biol Rhythms.* 12: 278-289, 1997
- 47) Hagenauer MH, Perryman JI, Lee TM, Carskadon MA. Adolescent changes in the homeostatic and circadian regulation of sleep. *Dev Neurosci.* 31: 276-284, 2009
- 48) Crowley SJ, Cain SW, Burns AC, Acebo C, Carskadon MA. Increased Sensitivity of the Circadian System to Light in Early/Mid-Puberty. *J Clin Endocrinol Metab.* 100: 4067-4073, 2015
- 49) Roenneberg T, Daan S, Merrow M. The art of entrainment. *J Biol Rhythms.* 18: 183-194, 2003
- 50) Adan A, Archer SN, Hidalgo MP, Di Milia L, Natale V, Randler C. Circadian typology: a comprehensive review. *Chronobiol Int.* 29:

1153-1175, 2012

- 51) 三島和夫：睡眠覚醒と生物時計機構との関わり．睡眠科学 pp. 48-66, 化学同人，京都，2016
- 52) Duffy JF, Dijk DJ, Hall EF, Czeisler CA. Relationship of endogenous circadian melatonin and temperature rhythms to self-reported preference for morning or evening activity in young and older people. *J Investig Med.* 47: 141-150, 1999
- 53) Taillard J, Philip P, Claustrat B, Capelli A, Coste O, Chaumet G, Sagaspe P. Time course of neurobehavioral alertness during extended wakefulness in morning- and evening-type healthy sleepers. *Chronobiol Int.* 28: 520-527, 2011
- 54) Bailey SL, Heitkemper MM. Circadian rhythmicity of cortisol and body temperature: morningness-eveningness effects. *Chronobiol Int.* 18: 2492-2961, 2001
- 55) Baehr EK, Revelle W, Eastman CI. Individual differences in the phase and amplitude of the human circadian temperature rhythm: with an emphasis on morningness-eveningness. *J Sleep Res.* 9: 117-127, 2000
- 56) Taillard J, Philip P, Coste O, Sagaspe P, Bioulac B. The circadian and homeostatic modulation of sleep pressure during wakefulness differs between morning and evening chronotypes. *J Sleep Res.* 12: 275-282, 2003
- 57) Taillard J, Philip P, Bioulac B. Morningness/eveningness and the need for sleep. *J Sleep Res.* 8: 291-295, 1999
- 58) Ishihara K, Miyasita A, Inugami M, Fukuda K, Miyata Y. Differences in sleep-wake habits and EEG sleep variables between active morning and

- evening subjects. *Sleep*. 10: 330-342, 1987
- 59) Giannotti F, Cortesi F, Sebastiani T, Ottaviano S. Circadian preference, sleep and daytime behaviour in adolescence. *J Sleep Res*. 11: 191-199, 2002
- 60) Simor P, Zavecz Z, Pálosi V, Török C, Köteles F. The influence of sleep complaints on the association between chronotype and negative emotionality in young adults. *Chronobiol Int*. 32: 1-10, 2015
- 61) Alvaro PK, Roberts R, Harris JK. The independent relationships between insomnia, depression, subtypes of anxiety, and chronotype during adolescence. *Sleep Med*. 15: 934-941, 2014
- 62) Wood J, Birmaher B, Axelson D, Ehmann M, Kalas C, Monk K, Turkin S, Kupfer DJ, Brent D, Monk TH, Nimgaikar VL. Replicable differences in preferred circadian phase between bipolar disorder patients and control individuals. *Psychiatry Res*. 166: 201-209, 2009
- 63) Merikanto I, Lahti T, Kronholm E, Peltonen M, Laatikainen T, Vartiainen E, Salomaa V, Partonen T. Evening types are prone to depression. *Chronobiol Int*. 30: 719-725, 2013
- 64) Horne JA, Ostberg O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *Int J Chronobiol*. 4: 97-110, 1976
- 65) 石原金由, 宮下彰夫, 犬上牧, 福田一彦, 山崎勝男, 宮田洋 : 日本語版朝型－夜型 (Morningness-Eveningness) 質問紙による調査結果. *心理学研究* 57: 87-91, 1986
- 66) 石原金由, 内山真, 横瀬宏美, 土井由利子 : 短縮版朝型－夜型質問紙の開発. *日本睡眠学会第 39 回定期学術集会抄録集* p. 283, 日本睡

- 眠学会，東京，2014
- 67) 野々口陽子，山田 富美雄，島井 哲志：短縮版朝型－夜型質問紙：日本語版の信頼性と妥当性の検証．日本健康心理学会大会発表論文集 一般社団法人 日本健康心理学会 30: 48, 2017
- 68) Koscec A, Radosevic-Vidacek B, Bakotic M. Morningness–eveningness and sleep patterns of adolescents attending school in two rotating shifts, *Chronobiol Int.* 31: 52-63, 2014
- 69) Collado Mateo MJ, Díaz-Morales JF, Escribano Barreno C, Delgado Prieto P, Randler C. Morningness-eveningness and sleep habits among adolescents: age and gender differences. *Psicothema.* 24: 410-415, 2012
- 70) Archer SN, Carpen JD, Gibson M, Lim GH, Johnston JD, Skene DJ, von Schantz M. Polymorphism in the PER3 promoter associates with diurnal preference and delayed sleep phase disorder. *Sleep.* 33: 695-701, 2010
- 71) Lázár AS1, Slak A, Lo JC, Santhi N, von Schantz M, Archer SN, Groeger JA, Dijk DJ. Sleep, diurnal preference, health, and psychological well-being: a prospective single-allelic-variation study. *Chronobiol Int.* 29: 131-146, 2012
- 72) Roenneberg T, Wirz-Justice A, Mrosovsky M. Life between clocks: daily temporal patterns of human chronotypes. *J Biol Rhythms.* 18: 80-90, 2003;
- 73) von Schantz M. Phenotypic effects of genetic variability in human clock genes on circadian and sleep parameters. *J Genet.* 87: 513-519, 2008
- 74) 吉村道孝：スマートフォンや PC のバックライトとしての応用と普及．ブルーライトテキストブック pp. 22-26, 金原出版株式会社，東京，2016
- 75) 総務省：平成 29 年版 情報通信白書，第 1 章スマートフォン経済の

- 現在と将来. 第 1 節スマートフォン社会の到来. pp. 2-13, 2017
www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/n1100000.pdf (アクセス日 : 2018 年 8 月 31 日)
- 76) 総務省 : 平成 28 年版 情報通信白書. 第 3 章 IoT 時代の新製品・サービス. 第 2 節スマートフォンの普及と ICT 利活用. p. 165, 2016
www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/pdf/n3200000.pdf (アクセス日 : 2018 年 8 月 31 日)
- 77) Liu CH, Lin SH, Pan YC, Lin YH. Smartphone gaming and frequent use pattern associated with smartphone addiction. *Medicine (Baltimore)*. 95: e4068, 2016
- 78) Choi SW, Kim DJ, Choi JS, Ahn H, Choi EJ, Song WY, Kim S, Youn H. Comparison of risk and protective factors associated with smartphone addiction and Internet addiction. *J Behav Addict*. 4: 308-314, 2015
- 79) Randler C, Wolfgang L, Matt K, Demirhan E, Horzum MB, Beşoluk Ş. Smartphone addiction proneness in relation to sleep and morningness-eveningness in German adolescents. *J Behav Addict*. 5: 465-473, 2016
- 80) Van den Bulck J. Text messaging as a cause of sleep interruption in adolescents, evidence from a cross-sectional study. *J Sleep Res*. 12: 263, 2003
- 81) Exelmans L, Van den Bulck J. Bedtime, shuteye time and electronic media: sleep displacement is a two-step process. *J Sleep Res*. 26: 364-370, 2017
- 82) Lemola S, Perkinson-Gloor N, Brand S, Dewald-Kaufmann JF, Grob A.

- Adolescents' electronic media use at night, sleep disturbance, and depressive symptoms in the smartphone age. *J Youth Adolesc.* 44: 405-418, 2015
- 83) Pecor K, Kang L, Henderson M, Yin S, Radhakrishnan V, Ming X. Sleep health, messaging, headaches, and academic performance in high school students. *Brain Dev.* 38: 548-553, 2016
- 84) Touitou Y, Touitou D, Reinberg A. Disruption of adolescents' circadian clock: The vicious circle of media use, exposure to light at night, sleep loss and risk behaviors. *J Physiol Paris.* 110: 467-479, 2016
- 85) Cajochen C, Münch M, Kriebel S, Krauchi K, Steiner R, Oelhafen P, Orgül S, Wirz-Justice A. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *J Clin Endocrinol Metab.* 90: 1311-1316, 2005
- 86) Chang AM, Aeschbach D, Duffy JF, Czeisler CA. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 112: 1232-1237, 2015
- 87) Kayaba M, Iwayama K, Ogata H, Seya Y, Kiyono K, Satoh M, Tokuyama K. The effect of nocturnal blue light exposure from light-emitting diodes on wakefulness and energy metabolism the following morning. *Environ Health Prev Med.* 19: 354-361, 2014
- 88) van der Lely S, Frey S, Garbazza C, Wirz-Justice I, Jenni OG, Steiner R, Wolf S, Cajochen C, Bromundt V, Schmidt C. Blue blocker glasses as a countermeasure for alerting effects of evening light-emitting diode screen exposure in male teenagers. *J Adolesc Health.* 56: 113-119, 2015

- 89) Crowley SJ, Van Reen E, LeBourgeois MK, Acebo C, Tarokh L, Seifer R, Barker DH, Carskadon MA. A longitudinal assessment of sleep timing, circadian phase, and phase angle of entrainment across human adolescence. *PLoS One*. 9: e112199, 2014
- 90) Crowley SJ, Acebo C, Carskadon MA. Sleep, circadian rhythms, and delayed phase in adolescence. *Sleep Med*. 8: 602-612, 2007
- 91) 松本珠希, 後山尚久, 林達也, 森谷敏夫: ゆらぎの科学と女性心身医学—月経周期に伴う心とからだの変化と自律神経活動との関連—. *日本女性心身医学会雑誌* 12: 433-443, 2007
- 92) 松本珠希, 後山尚久, 木村哲也, 林達也, 森谷敏夫: 月経前症候群・月経前不快気分障害の発症と自律神経活動動態との関連. *産婦人科治療* 95: 544-552, 2007
- 93) 高木絢加, 山口光枝, 脇坂しおり, 坂根直樹, 森谷敏夫, 永井成美: 若年女性の安静時エネルギー消費量, および中性温度域における体温と温度感覚の変化: 日常的な冷え感の有無による 2 群の比較. *女性心身医学* 17: 193-205, 2012
- 94) Matsumoto T, Miyawaki C, Ue H, Kanda T, Yoshitake Y, Moritani T. Comparison of thermogenic sympathetic response to food intake between obese and non-obese young women. *Obes Res*. 9: 78-85, 2001
- 95) Matsumoto T, Miyawaki T, Ue H, Kanda T, Zenji C, Moritani T. Automatic responsiveness to acute cold exposure in obese and non-obese young woman. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 23: 793-800, 1999
- 96) Young ME, Razeghi P, Taegtmeier H. Clock genes in the heart: characterization and attenuation with hypertrophy. *Circ Res*. 88: 1142-1150,

2001

- 97) Young ME. The circadian clock within the heart: potential influence on myocardial gene expression, metabolism, and function. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 290: 1-16, 2006
- 98) Bartness TJ, Song CK, Demas GE. SCN efferents to peripheral tissues: implications for biological rhythms. *J Biol Rhythms.* 16: 196-204, 2001
- 99) Scheer FA, Ter Horst GJ, van Der Vliet J, Buijs RM. Physiological and anatomic evidence for regulation of the heart by suprachiasmatic nucleus in rats. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 280: 1391-1399, 2001
- 100) 大塚邦明：心拍変動のクロノミクス．時間内科学 pp. 214-224, 中山書店，東京，2013
- 101) Son GH, Chung S, Kim K. The adrenal peripheral clock: glucocorticoid and the circadian timing system. *Front Neuroendocrinol.* 32: 451-465, 2011
- 102) Verhagen MA, Van Schelven LJ, Samsom M, Smout AJ. Pitfalls in the analysis of electrogastrographic recordings. *Gastroenterology.* 117: 453-460, 1999
- 103) Parkman HP, Hasler WL, Barnett JL, Eaker EY. American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force: Electrogastrography: a document prepared by the gastric section of the American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force. *Neurogastroenterol Motil,* 15: 89-102, 2003
- 104) Abell TL, Malagelada JR: Electrogastrography. Current assessment and future perspectives. *Dig Dis Sci.* 33: 982-992, 1988
- 105) Simonian HP, Panganamamula K, Parksman HP, Xu X, Chen JZ,

- Lindberg G, Xu H, Shao C, Ke MY, Lykke M, Hansen P, Barner B, Buhl H. Multichannel electrogastrography (EGG) in normal subjects: a multicenter study. *Dig Dis Sci* 49: 594-601, 2004
- 106) 脇坂しおり, 小橋理代, 菱川美由紀, 山本百希奈, 池田雅子, 坂根直樹, 松永哲郎, 森谷敏夫, 永井成美: 胃電図を指標とした朝食欠食と朝の胃運動の関連の検討. *日本栄養・食糧学会誌* 62: 297-304, 2009
- 107) 脇坂しおり, 松本雄大, 永井元, 村絵美, 森谷敏夫, 永井成美: 摂取する水の温度と量がヒトの胃運動に及ぼす影響. *日本栄養・食糧学会誌* 64: 19-25, 2011
- 108) Parkman HP, Hasler WL, Barnett JL, Eaker EY; American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force. Electrogastrography: a document prepared by the gastric section of the American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force. *Neurogastroenterol Motil.* 15: 89-102, 2003
- 109) 永井成美, 脇坂しおり, 高木絢加, 山口光枝, 森谷敏夫: 香辛料を含むスープの摂取が胃運動と食欲に及ぼす作用. *栄養学雑誌* 70: 17-27, 2012
- 110) Adachi H, Kamiya T, Hirako M, Misu N, Kobayashi Y, Shikano M, Matsuhisa E, Kataoka H, Sasaki M, Ohara H, Nakao H, Orito E, Joh T. Improvement of gastric motility by hemodialysis in patients with chronic renal failure, *J. Smooth Muscle Res.* 43: 179-189, 2007
- 111) Takumi H, Fujishima N, Shiraishi K, Mori Y, Ariyama A, Kometani T, Hashimoto S, Nadamoto T. Effects of alpha-glucosylhesperidin on the peripheral body temperature and autonomic nervous system. *Biosci*

Biotechnol Biochem. 74: 707-715, 2010

- 112) 大西喜英：赤外線の話：耳式体温計はなぜ売れたか？ 体温のバイオロジー 体温はなぜ 37°C なのか（山蔭道明）。 pp. 169-172, メディカル・サイエンス・インターナショナル, 東京, 2005
- 113) Czeisler CA, Weitzman Ed, Moore-Ede MC, Zimmerman JC, Knauer RS. Human sleep: its duration and organization depend on its circadian phase. Science. 210: 1264-1267, 1980
- 114) 三島和夫：概日リズムと睡眠．時間生物学 pp. 118-130, 化学同人, 京都, 2012

3. 研究 1 食事時刻が同じ集団のクロノタイプ（朝型－夜型）と

起床後の胃運動，バイタル指標との関連

3.1 要旨

【目的】 これまでに，夕方から夜にかけて活動しやすい夜型指向の女子大学生で，朝に低調な心臓自律神経活動を示すとともに，その胃の動きが食事時刻のばらつきに影響されることが報告されている。本研究では，この「食事時刻のばらつき」が極力少ない集団として，同じ食事時刻で寮生活を送る女子高校生を対象に，朝型－夜型指向と朝の胃の動きの関連について，運動および体温，血圧，心拍数等のバイタル指標とともに調べた。

【方法】 2014年5月にA高校寮内に設けた測定室で，女子生徒41名の血圧，耳内温，心電図，胃電図を朝食前の時間帯に10分間測定した。心電図から平均心拍数と心臓自律神経活動を求めた。胃運動，すなわち1分間に約3回生じる空腹期胃運動の評価のために，腹壁表面の電極から胃の活動電位を導出し，その胃電図波形をスペクトル解析する方法でパワー（強さ）とピーク周波数（出現頻度）を求めた。生活習慣と朝型－夜型指向は質問紙で調査し，10項目の質問への回答を1-5点で採点した合計点を朝型－夜型スコア（以下，MEスコア記す）とした。本研究では，平均点（28.5点）以上を朝型傾向群，未満を夜型傾向群として各項目を比較した。

【結果】 夜型傾向群では，朝型傾向群と比べて 1) 平日と休日の起床時刻が有意に遅く， 2) 心拍数が有意に高く， 3) 胃運動ではパワーに差はなかったが，運動の出現頻度が有意に高値を示した。

【結論】 寮生活を送る女子高校生において，夜型傾向群で起床後には朝

型傾向群よりも高い心拍数が認められた。女子大学生でみられたような胃運動の減弱は本集団においては認められず、定時の食事摂取が胃の予知活動につながったと考えられる。

3.2 緒言

体内時計は約 24 時間の時計発振機構であり、外界の周期的振動現象に同調して生体機能の最適化をはかっている¹⁾。しかし、社会の夜型化や IT 機器の普及などが高校生の生活にも影響しており²⁾、午前 0 時以降に就寝する者は 6 割を超え、朝食欠食者も約 2 割いるとの報告がある^{3,4)}。しかし、高校生の睡眠－覚醒リズムの夜型化が、朝食欠食につながりやすい体内時計変調に関連しているかどうか不明な点が多い。「今後の学校における食育の在り方に関する有識者会議」は⁵⁾、食育は小中学校が中心で高等学校での取組みは十分ではないことや、20・30 歳代の朝食欠食の改善と次世代の親となるという観点から、高校生への食育の重要性について言及している。以上のことから、生体リズムや朝食摂取に関して、高校生自身のデータから示すことは意義深いと考えられる。

朝食摂取の重要性に関しては、これまでに、朝食摂取習慣を有する女子大学生の胃電図で胃の周期的活動（1 分間に 3 回出現する正常波出現頻度）を評価し、1 週間の朝食欠食試験後には朝食摂取前の空腹期胃運動の減弱を示唆する正常波出現頻度減少と食欲低下が認められたことが報告されている⁶⁾。しかし、夕方から夜に活動しやすい夜型指向^{7,8)}の女子大学生では、朝に活動しやすい朝型指向^{7,8)}とは異なる朝のバイタル指標、すなわち安静時心拍数高値と交感神経活動優位の自律神経活動を示すことを見出したが^{9,10)}、朝食前の胃運動指標との関連は明らかでな

かった。その一因として、生活の自由度が比較的高い大学生では卒業研究やサークル活動、夜間に及ぶアルバイト等で食事時刻の変動が大きいことなどが考えられた。

以上を踏まえて本研究では、同じ食事時刻、生活規則のもとで寮生活をしている女子高校生において、妥当性が検討された邦訳版質問紙^{11,12)}を用いて朝型－夜型指向を分類し、朝食前の空腹期胃運動への関連についてバイタル指標である、体温、血圧、安静時心拍数等とともに検討することを目的とした。なお、女子生徒のみを対象としたのは、女子大学生対象の既報とのデータの比較性を考慮したためである。

3.3 方法

3.3.1 研究参加者

A 大学附属高校（以下、A 高校と記す）の寮は H 県の自然豊かな山間部に位置し、寮生は決められた門限（午後 9 時）・消灯・起床・食事時刻に従い規則正しい生活をしている。周囲にはコンビニエンスストアを含め食料品を入手できる店舗はなく、夜は寮の周囲は真っ暗な環境である。寮生の食物への主なアクセスは、寮の食堂（朝食・夕食、間食〔食堂の準備・営業時間内にアイスクリームと肉まんの購入が可能〕）、学校の食堂（昼食）、寮の自動販売機（清涼飲料水、スポーツドリンク、牛乳）、帰宅時に寮に持ち帰る食品（保存のきくインスタント食品、菓子類等。自室に冷蔵庫は無い）が主なものである。

本研究は A 高校の寮生への食育の一環として行っており、本測定への協力者は、A 高校の寮生集会時に測定内容をパワーポイントや実演で説明し、寮生と保護者への説明書の配布により募集した。測定協力者は寮

生 127 名のうち、参加への同意が本人と保護者より書面で得られた 77 名で、本研究の対象（以下、研究参加者と記す）は、うち女子 41 名であった。研究参加者の身体的特徴は表 1 に示した。

本研究の実施にあたっては、研究参加者の個人情報保護や倫理的配慮を盛り込んだ研究計画書を作成し、兵庫県立大学環境人間学部研究倫理委員会の審査と承認を受けた（受付番号 088, 2014 年 4 月 28 日承認）。全てのデータは ID で匿名化する、氏名が記入された質問紙の表紙は A 高校で保存するという方法により個人が特定できないようにした。

表 3-1 夜型傾向群と朝型傾向群の身体的特徴とバイタル指標

	夜型傾向群 ($n = 17$)	朝型傾向群 ($n = 24$)	p 値
MEスコア [†]	24.5 ± 0.7	31.3 ± 0.5	-
年齢 (歳)	15.9 ± 0.2	16.2 ± 0.2	0.35
身長 (cm)	157.1 ± 1.2	158.0 ± 1.0	0.59
体重 (kg)	53.0 ± 1.8	53.0 ± 1.3	0.98
BMI (kg/m ²)	21.4 ± 0.7	21.2 ± 0.5	0.82
体脂肪率 (%)	27.8 ± 1.3	26.3 ± 1.2	0.44
収縮期血圧 (mmHg)	109 ± 2	102 ± 2	0.054
拡張期血圧 (mmHg)	74 ± 2	69 ± 2	0.066
耳内温 (°C) [‡]	36.20 ± 0.10	35.97 ± 0.07	0.060
安静時心拍数 (bpm) [§]	72.2 ± 3.0	65.3 ± 1.8	0.046
心臓自律神経活動指標 [§]			
VLF power (熱産生に関与する交感神経活動)(ms ²)	775 ± 121	868 ± 141	0.62
LF power (交感+副交感神経活動)(ms ²)	1,821 ± 237	1,774 ± 214	0.89
HF power (副交感神経活動)(ms ²)	585 ± 127	437 ± 74	0.37
Total power (総自律神経活動)(ms ²)	3,182 ± 420	3,079 ± 371	0.86

平均 ± 標準誤差。t 検定（対応なし）。

[†], 日本語版 Morningness/Eveningness Scale for Children の合計点; 平均点 (28.5 点) 以上: 朝型傾向群 (29-37 点, $n = 24$); 平均点未満: 夜型傾向群 (18-28 点, $n = 17$)

[‡], 10 分間の平均値を用いた。[§], 8 分間の平均値を用いた。

3.3.2 質問紙調査

生活習慣調査には、「睡眠習慣調査 I 中学生用」¹³⁾を用い、著者の許可を得て食習慣・運動習慣の項目を追加する改変を行ったうえで使用した。食習慣は、朝食、昼食、夕食、夜食の摂取状況（必ず食べる、食べないことがある、ほとんど食べない、の3件法）、および摂取時刻について回答を得た。なお、夜食とは、「夕食から就寝までに口にする飲食物」と定義し、習慣的な摂取状況を質問紙により調査した。睡眠状況は、就寝時刻、起床時刻、睡眠時間について、運動習慣は、1週間の運動回数と1回あたりの時間について回答を得た。朝型－夜型質問紙は、小児～青年期を対象とした研究において信頼性と妥当性が確認された英語版質問紙（MES-C）^{14,15,16,17)}を、石原ら¹²⁾が邦訳した日本語版のMES-Cを使用した。本質問紙は、理想とする起床・就床時刻の評定、運動やテストをするならばどの時間帯を選びたいかという選択、早朝・夜間の時間帯の自分の体調やパフォーマンスの予測等に関する10問で構成され、高校生にも理解しやすい文章で表現されている。例えば、従来のMEQ¹¹⁾が「仕事」と表現している箇所は「学校」に、「肉体作業」は「運動」に表現の変更が行われている。MES-Cの信頼性については、①再テスト法により、女子大学生94名への2回のテストの相関（ $r = 0.83$, $p < 0.001$ ）が確認されるとともに、②内的整合性の検討により女子大学生223名、825名にテストを行い、それぞれのクロンバック α 係数が0.74、0.76であることが確認された（未公表データ）。次に、収束的妥当性については、同じ構成概念で朝型－夜型を測定しているHorne&Ostberg⁷⁾のMEQとMES-Cを223名の女子大学生に実施し、相関を検討する方法により確認された（ $r = 0.75$, $p < 0.001$ ）（未公表データ）。

この MES-C では、10 項目の質問への各回答を 1-5 点で採点し、合計点を ME スコアとし、スコアが低いほど夜型傾向、高いほど朝型傾向にあると評価される。「何点以上が朝型である」といったカットオフ値はないが、調査対象の得点の上位 25%を朝型、下位 25%を夜型、その間を中間型とした報告がある¹²⁾。本研究では、同じ規則に従う寮生活をしていても、睡眠-覚醒リズムには個人差があると仮定し、ME スコアの正規分布を Shapiro-Wilk 検定で確認したのち、平均点の 28.5 点以上を朝型傾向群 (29-37 点, $n = 24$)、平均点未満を夜型傾向群(18-28 点, $n = 17$) に分類した (図 1)。

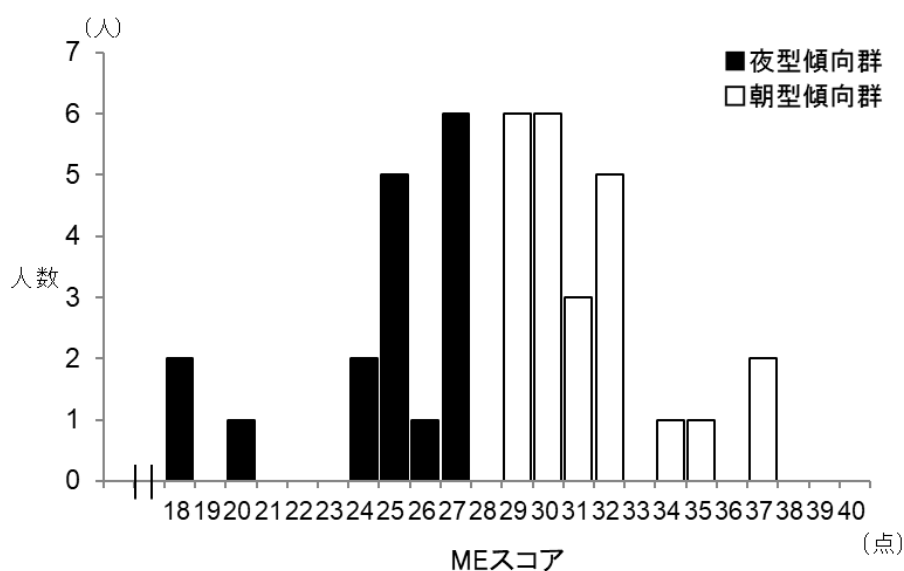


図 3-1 ME スコアの分布

朝型-夜型 (ME) スコアの分布 ($n = 41$)

3.3.3 測定プロトコル

研究参加者には、検査日前日にはカフェイン、香辛料、油の多い食事、いつもよりも激しい運動を避けること、午後 10 時以降の絶食といつもの時間どおりの就寝、当日午前 6 時以降の水分制限と朝食前に測定に来てもらうことを依頼した。測定室を A 高校の女子寮 2 階談話室に設置し、1 日に 2 グループ、最大 7 名ずつの測定を平成 26 年 5 月中の 4 日間に行った。研究参加者は、午前 6 時 30 分～7 時の間に自室を出て談話室（21-23℃）に入り、体重と体組成（体組成計インナー스キャン 50BC-528、株式会社タニタ、東京）と血圧（OMRON HEM-7000、オムロン株式会社、京都）を測定した。身長は、本人の自己申告による値を用いた。身長と体重から Body mass index（BMI）を計算式（体重〔kg〕／身長〔m〕²）で求めた。次に電極と体温センサーを装着し、安静状態で、深部体温の指標としての耳内温、心電図、胃電図を同時に座位にて 10 分間測定した。測定中は無音で刺激の少ない環境にするとともに、会話と体動、居眠りを避けることを注意事項として伝え、安静と覚醒を保持した。

3.3.4 自律神経活動の測定と評価

心電図は既報^{18,19)}に基づく方法でサンプリングおよびパワーの解析を行い、安静時心拍数（以下、心拍数と記す）と自律神経活動指標を算出した。各自律神経活動の指標は、心電図より得た R-R 間隔の 8 分間の連続データを高速フーリエ変換して各周波数成分に分離した。得られたパワースペクトルを、低い方から順に 0.007-0.035 Hz を体温・熱産生に関与する交感神経活動として報告されている超低周波数帯域（Very-low frequency Power, VLF Power）、0.035-0.15 Hz を主に交感神経活動（一部

に副交感神経活動を含む)を反映する低周波数帯域(Low-frequency Power, LF Power), 0.15-0.5 Hz を副交感神経活動を反映する高周波数帯域(High-frequency Power, HF Power), 0.007-0.5 Hz 間の総和(Total Power)を総自律神経活動として, 各周波数帯域の積分値をパワーとして求めた¹⁹⁾。

3.3.5 胃電図による胃運動の評価

胃の電氣的活動の測定は, 我々が独自に開発した胃電図測定システムと解析プログラムを用いて, 胃体上部大彎側のペースメーカー細胞より発生する脱分極・再分極を導出・解析した^{6,20)}。具体的には, 腹壁に配置した電極²¹⁾から得られた信号を生体用アンプ(EGG Amplifier, Biotex, 京都)を用いて混入した心電図とノイズを除去し, 選択導出した信号を1000~2000倍に増幅し, A/D変換(DAQ AD135, Germany)したデータをコンピューターのハードディスクに保存した。保存された時系列データを, HTBasic(Trans Era, Utah, USA)で作成されたプログラムで高速フーリエ変換しパワースペクトルを求めた^{6,20,21)}。

胃運動の評価は, 既報²²⁾に基づく方法で, 正常波(2-4 cpm)の周波数帯域のスペクトル積分値を算出して求めたパワーと, この正常波のピーク周波数から求めた正常波出現頻度を用いた。正常波パワーは胃運動の強さを表す指標, 正常波出現頻度は1分間に約3回出現する胃運動の頻度(収縮の速度を反映)の指標とした^{6,20,21,22,23)}。

3.3.6 統計処理

データは平均 ± 標準誤差で表した。各変数の統計解析方法は, 正規性を Shapiro-Wilk 検定で確認した上で決定した。朝型傾向群と夜型傾向

群の比較には、正規性のある変数（身体的指標、バイタル指標および胃運動指標）に対しては F 検定（Levene の等分散性の検定）を行い、Student の t 検定（対応なし）もしくは Welch の t 検定を用いた。また、正規性のない変数（生活習慣〔就寝時刻、起床時刻等〕）に対しては、Mann-Whitney の U 検定、食事の摂取状況の検定には Fisher の直接確率検定を用いた。統計解析は SPSS Statistics 20 for Windows（IBM、東京）を用いた。検定の有意水準は 5%（両側検定）とした。

3.4 結果

3.4.1 身体的特徴とバイタル指標

被験者 41 名の身体的特徴は、年齢 16.1 ± 0.1 歳、BMI 21.3 ± 0.4 kg/m²、収縮期血圧 105 ± 2 mmHg、拡張期血圧 71 ± 1 mmHg（平均 \pm 標準誤差）であった。

表 1 に、朝型傾向群と夜型傾向群の身体的特徴を示した。夜型傾向群では朝型傾向群と比較して、心拍数が有意に高く（ $p = 0.046$ ）、収縮期血圧（ $p = 0.054$ ）、拡張期血圧（ $p = 0.066$ ）、耳内温（ $p = 0.060$ ）は、高かったが有意ではなかった。各自律神経活動指標を含む他の項目には 2 群で有意な差はなかった。

3.4.2 生活習慣状況

表 2 に、生活習慣の状況を示した。夜型傾向群では朝型傾向群と比較して、起床時刻が平日（ $p < 0.001$ ）、休日（ $p = 0.002$ ）ともに有意に遅かった。睡眠時間は、平日では 2 群に有意な差はなく、休日では、夜型傾向群のほうが朝型傾向群よりも長かったが、有意ではなかった（ $p =$

0.068)。寮では午前 7 時 10 分が朝食時刻と定められているため、朝食時刻には差がなく、運動回数や 1 回当たり運動時間にも 2 群で有意な差はなかった。

表 3 に、3 食と夜食の摂取状況を示した。夜型傾向群の朝食摂取頻度は 88.2%，朝型傾向群では 95.8% で、後者の割合のほうが高かったが統計的に有意な差ではなかった。昼食と夕食摂取状況にも 2 群で差はなかった。夜食は、夜間傾向群の過半数が「必ず食べる・食べないことがある」と回答しており朝型傾向群よりも高率であったが、有意な差はなかった。

表 3-2 夜型傾向群と朝型傾向群の生活習慣の比較

	夜型傾向群 (n = 17)	朝型傾向群 (n = 24)	p 値
就寝時刻 平日	24時11分 ± 11分	23時56分 ± 12分	0.52
休日	24時26分 ± 13分	24時5分 ± 12分	0.24
起床時刻 平日	6時50分 ± 5分	6時05分 ± 12分	<0.001
休日	8時58分 ± 20分	7時46分 ± 14分	0.002
睡眠時間 平日	6時間16分 ± 15分	5時間57分 ± 7分	0.22
休日	8時間17分 ± 15分	7時間36分 ± 14分	0.068
朝食時刻 平日 [†]	7時16分 ± 3分	7時17分 ± 2分	0.82
週当たり運動回数 (回) [‡]	5.5 ± 0.5	4.7 ± 0.4	0.17
1回当たり運動時間 (分) [‡]	140 ± 17	118 ± 10	0.28

平均 ± 標準誤差。Mann-Whitney の U 検定。

[†]，朝食欠食者を除いた値（夜型傾向群，n = 13；朝型傾向群，n = 22）。

[‡]，運動をする者の値（夜型傾向群，n = 6；朝型傾向群，n = 15）。

就寝時刻，起床時刻，朝食時刻は，時間を 1～24 までとし，分は 60 分を 1 に換算して比較した。睡眠時間は，全部分に換算してから比較した。

表 3-3 夜型傾向群と朝型傾向群の食事の摂取状況

	夜型傾向群 ($n = 17$)			朝型傾向群 ($n = 24$)			p 値
	必ず食べる	食べない ことがある	ほとんど 食べない	必ず食べる	食べない ことがある	ほとんど 食べない	
朝食	15 (88.2)	1 (5.9)	1 (5.9)	23 (95.8)	1 (4.2)	0 (0.0)	0.46
昼食	16 (94.1)	1 (5.9)	0 (0.0)	22 (95.7)	1 (4.3)	0 (0.0)	0.68
夕食	16 (94.1)	1 (5.9)	0 (0.0)	24 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0.23
夜食	5 (31.3)	4 (25.0)	7 (43.8)	2 (8.3)	5 (20.8)	17 (70.8)	0.13

n (%), Fisher の直接確率検定

無回答は省いて集計した。

()内の数値は、朝食、昼食、夕食、夜食、それぞれの回答者総数に対する回答者パーセント(小数点以下第2位を四捨五入)。

3.4.3. 胃運動

図 2 に、胃運動の結果を示した。夜型傾向群は朝型傾向群に比べて、胃運動の速さを示す正常波出現頻度が有意に高値を示した (3.1 ± 0.1 vs. 2.8 ± 0.1 回/分, $p = 0.046$)。胃運動の強さを示す正常波パワーは、2群で有意な差はなかった (0.0071 ± 0.0036 vs. 0.0063 ± 0.0019 mV^2/cpm , $p = 0.84$)。

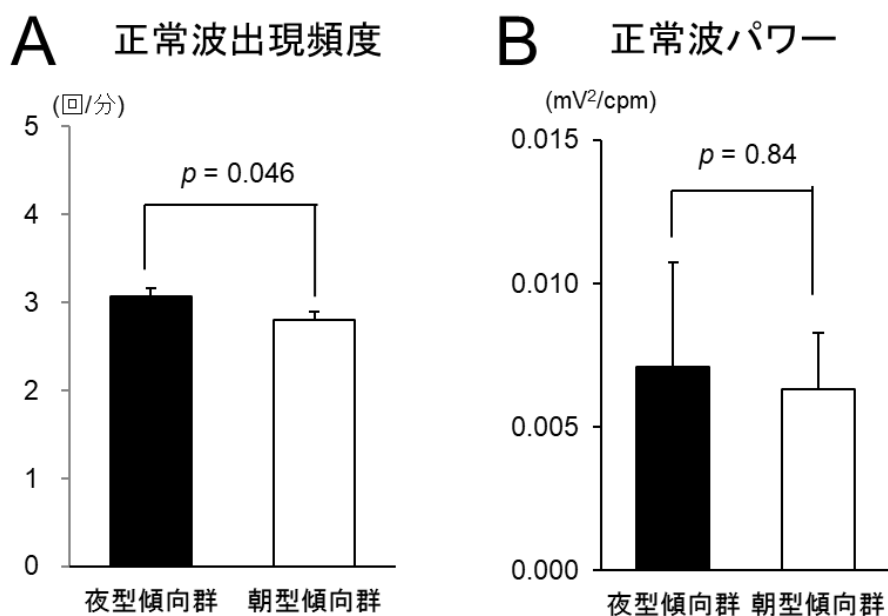


図 3-2 朝型傾向群と夜型傾向群の胃運動指標

A：正常波出現頻度（1分当たりの出現頻度を表す）。

B：正常波パワー（胃収縮の強さを表す）。

平均 ± 標準誤差。t 検定（対応なし）。

3.5 考察

本研究では、同じ食事時刻、生活規則のもとで寮生活をしている女子高校生を朝型傾向群と夜型傾向群に分類し、起床後で朝食前の胃運動に差があるかどうかを体温、血圧、心拍数等のバイタル指標と併せて検討した。主要な結果は以下の3点である。1) 夜型傾向群では平日と休日の起床時刻が朝型傾向群よりも有意に遅く、朝側へ延長していた。2) 夜型傾向群は朝型傾向群と比べて心拍数が有意に高かった。3) 胃収縮のパワーは両群で差はなかったが、胃運動出現頻度は夜型傾向群で有意に高かった。

3.5.1. 夜型傾向群の睡眠-覚醒リズム

朝型－夜型質問紙で健康な成人を朝型－夜型に分類した国外²⁴⁾・国内²⁵⁾の既報では、朝型では夜型に比べて早く寝て早く起きるといふ、就寝・起床時刻の前進現象と合計睡眠時間の短縮が認められたことが報告されている。また、女子大学生を対象にした本間ら²⁶⁾の研究によると、夜型では平日・休日ともに、就寝時刻と起床時刻の両方が朝側に延長しており、そのために睡眠時間に差はみられなかったことが報告されている。その理由として、大学生という社会的制約を比較的受けにくい対象では、起床時刻が朝側へ延長しやすいことが挙げられている^{11,26)}。一方、高校生を対象とした生活リズムの調査結果²⁷⁾からは、平日の起床時刻は学校の始業時刻やクラブ活動に合わせざるを得ないという制約があり、そのため平日の睡眠時間は短くなることや、休日の睡眠時間の延長と起床時刻の遅延がみられることが報告されている。本研究では、平日の睡眠時間には差がなかったが、夜型指向の女子高校生では平日・休日ともに朝型指向に比べて起床時刻が遅延しており、また、有意差には至らなかったが ($p = 0.068$) 休日の睡眠時間が延長していた。この結果は、以上に示した既報^{24,25,26,27)}と良い一致をみている。ただし、本研究の対象は、既報とは異なり自宅通学者は皆無で、全員が同じ規則に従って寮生活をしている均質的な集団である。このような集団においても、睡眠－覚醒リズムが朝型－夜型指向によって異なること、特に自由度の高まる休日において平日とは異なるリズムがみられたことは大変興味深い。

3.5.2 夜型傾向群のバイタル指標

夜型傾向群のバイタル指標の結果では、心拍数が有意に高かった。安

静時心拍数は、食後、体温上昇時、体調不良時などで増加し、心疾患や運動鍛錬者で減少することや、性別、年齢、測定時の姿勢、温度、時間等の環境条件によっても変動することが知られている²⁸⁾。しかし、本研究の夜型傾向群と朝型傾向群は、同性で年齢も近く、測定条件も一定であった。また、週当たりの運動回数と1回当たり運動時間のいずれにも両群で差がなかった。したがって、なぜ夜型傾向群で安静心拍数が高かったのかについては、以上の要因以外が関与している可能性がある。運動生理学的な観点からは、Åstrand & Rodahl²⁹⁾は、最高心拍数と安静時心拍数の較差を心臓の活動の余裕力とみなしており、運動鍛錬者にみられる徐脈は、運動によって心臓に余裕力が生じている状態であるとされている²⁸⁾。同様の観点から考察すると、夜型傾向群で見られた高い心拍数は、朝の心臓の余裕力が少ない状態であるとの解釈が可能である。さらに、夜型傾向群の平日の起床時刻の平均が6時50分であることから、6時30分からの測定に来るために普段よりも早く起床したことが心拍数の結果に影響した可能性も考えられる。

一方で、心拍数の調節に関連の深い心臓の自律神経活動には2群で有意な差はなかった。その理由として、長時間の横臥位から立位へ姿勢が変化した後の変動の影響で、両群ともに高値をとったことが推察されるが、詳細は不明である。今後、測定条件などを考慮した検討が望まれる。

5.3.3 夜型傾向群の胃運動

我々はこれまでに、習慣的な朝食欠食⁶⁾や、時計遺伝子 Clock の -3111T/C一塩基多型³⁰⁾によっても朝食摂取前の空腹期胃運動の減弱が起こることを報告している。そのため、本研究開始前には、概日リズム位

相の個人差の表現型である朝型－夜型指向にも朝の胃運動との関連があり、夜型傾向群の朝の胃運動は減弱していると予想していた。しかし、胃収縮のパワーには差がなく、胃運動出現頻度は夜型傾向群のほうが有意に高かった。なぜ、このような予想に反する結果となったのかについて考察する。

胃運動を含め、消化管の活動は、概日リズムの制御下にあると考えられており³¹⁾、食事に同調した振動（FEO）を発振する内因性の概日リズム機構が胃にも存在することや、食事時刻を予知して食事前に消化器の活動を高める摂食予知行動（FAA）が胃にも起こることが報告されている^{32,33)}。しかし、この FAA は、一定期間行動が体験されないと反応が消失することも知られている³⁴⁾。その検証のために、我々は週 5 日以上朝食を食べる習慣を 1 年以上継続している女子大学生に 1 週間の朝食欠食を依頼し、その後に元通りの食生活に戻して 1 週間後に胃運動を測定する試験を行った。その結果、欠食後、再摂食後ともに胃運動出現頻度は低下し続け、欠食による胃の予知活動の減弱が示唆された⁶⁾。一方の本研究対象は、3 食を全く同じ時刻に摂取している集団で、寮が山間部で店舗もほとんどない場所にあるため、欠食すると次の食事までは補食がしにくい食環境にあった。しかも、習慣的に 3 食を規則正しく摂取する寮生活期間が、1 年生であっても、2 カ月以上経過している状態での測定であった。このように、寮生が決まった時刻に規則正しく食事を摂取していたことが、朝食前の胃の予知活動を惹起し、夜型指向であっても起床直後の胃運動の減弱が生じにくかったと考えられる。

ただし、正常波出現頻度は夜型傾向群で朝型傾向群より有意に高かったため、このことに関してさらに考察する。対象の 3 食の摂取時刻や摂

取状況には 2 群で差はなかったが、夜型傾向群には、夜食を「必ず食べる・食べないことがある(= ほとんど食べている)」者が半数以上であり、習慣的に夜食を摂取していた。測定日前日は、特別に「午後 10 時以降の絶食」を被験者に依頼したが、夕食後から午後 10 時までの摂食は可能であった。以上より、夜型傾向群の中には、習慣的な夜食の摂取によって夜間も胃が活動し続け「胃が休まっていない」状態の者が含まれていた可能性がある。今後、夜食と朝の胃運動の関連についてはさらに検討が必要である。

しかしながら、朝型－夜型指向の違いに関わらず起床後の胃運動に差がなかったという結果は、朝食摂取や規則正しい食事リズムが胃に存在する体内時計の同調に寄与している可能性を示している。したがって、本研究結果は予想とは反していたが、青年期の朝食摂取や食事の規則性の重要性を、少なくとも女子高校生において示したデータであると考えられる。

3.5.4 研究の新規性と限界

本研究の新規性は、朝型－夜型指向と、3 食の食事の規則性のどちらが、朝の空腹期胃運動に関連しているのかについて、寮で生活をする女子高校生を対象にして、体温、血圧、心拍数等のバイタル指標とともに関連を検討した点である。その結果、3 食を規則正しく摂取する女子高校生では、朝型、夜型指向の両方で、朝食摂取前の空腹期胃運動が起きていることが示唆されており、調べた限りにおいて初めての報告である。

本研究の限界点は以下の 3 点である。第一に、対象は測定のために通

常の起床時刻より約 10～30 分早めに起床していたことから、起床後の眠気や緊張等の影響があった可能性がある。第二に、夜型傾向群で正常波出現頻度が高かった原因を明らかにできなかった点である。第三に、対象が未成年で採血などが難しく非侵襲的な手法のみでの測定であり、得られたデータが限られている点である。

一つの高校の女子生徒だけのデータであり、高校生全体に一般化できるかどうかは慎重な解釈が必要であるが、高校の寮で早朝に実測した貴重なデータでもある。今後は、食事摂取の介入研究や男子の測定及び自宅生の研究へとつなげ、青年期の食育に役立つ研究へと発展させたい。

3.6 引用文献

- 1) 柴田重信：時間栄養学．化学と生物 50: 641-646, 2012
- 2) 文部科学省：次代を担う自立した青少年の育成に向けて．第2章データが示す青少年の生活実態等の現状と課題．http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/gijiroku/attach/1346660.htm (アクセス日：2018年8月31日)
- 3) 文部科学省：「中高生を中心とした子供の生活習慣づくりに関する検討委員会」における審議の整理．www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2014/03/31/1346112.pdf (アクセス日：2018年8月31日)
- 4) ベネッセ教育総合研究所：第2回子ども生活実態基本調査．pp. 50-52, 2009
- 5) 文部科学省：今後の学校における食育の在り方について 最終報告 (平成25年12月)．http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2013/12/19/1342568_2_3.pdf (アクセス日：2018年8月31日)
- 6) 脇坂しおり，小橋理代，菱川美由紀，山本百希奈，池田雅子，坂根直樹，松永哲郎，森谷敏夫，永井成美：胃電図を指標とした朝食欠食と朝の胃運動の関連の検討．日本栄養・食糧学会誌 62: 297-304, 2009
- 7) Horne JA, Ostberg O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *Int. J. Chronobiol.* 4: 97-110, 1976
- 8) 田宮聡，田宮裕子，中原俊夫，更井啓介：質問紙を用いた朝型－夜型の判定法に関する検討．心身医学 30: 531-537, 1990

- 9) 山口光枝, 渡邊敏明, 高木絢加, 脇坂しおり, 坂根直樹, 森谷敏夫, 永井成美: 女子大学生における生活リズムの朝型-夜型度と朝の自律神経活動の関連. 女性心身医学 16: 160-168, 2011
- 10) 本窪田直子, 駒居南保, 鈴木麻希, 林育代, 森谷敏夫, 永井成美: 夜型指向性が若年女性の自律神経活動, 胃運動および食欲感覚の日中の変動に及ぼす影響. 日本栄養・食糧学会誌 69: 65-74, 2016
- 11) 石原金由, 宮下彰夫, 犬上牧, 福田一彦, 山崎勝男, 宮田洋: 日本語版朝型-夜型 (Morningness-Eveningness) 質問紙による調査結果. 心理学研究 57: 87-91, 1986
- 12) 石原金由, 内山真, 横瀬宏美, 土井由利子: 短縮版朝型-夜型質問紙の開発. 日本睡眠学会第39回定期学術集会抄録集 p. 283, 日本睡眠学会, 東京, 2014
- 13) 石原金由, 江口由佳子, 三宅進: 小・中学生における睡眠・覚醒習慣の変化. 睡眠と環境 3: 90-97, 1995
- 14) Negriff S, Dorn LD. Morningness/eveningness and menstrual symptoms in adolescent females, J. Psychosom. Res. 67: 169-172, 2009
- 15) Negriff S, Dorn LD, Pabst SR, Susman EJ. Morningness/eveningness, pubertal timing, and substance use in adolescent girls. Psychiatry Res. 185: 408-413, 2011
- 16) Carskadon MA, Vieira C, Acebo C. Association between puberty and delayed phase preference. Sleep. 16: 258-262, 1993
- 17) Koscec A, Radosevic-Vidacek B, Bakotic M. Morningness-eveningness and sleep patterns of adolescents attending school in two rotating shifts. Chronobiol. Int. 31: 52-63, 2014

- 18) Malik M. Heart rate Variability, Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use, Task Force of the European Society of cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*. 93: 1043-1065, 1996
- 19) Matsumoto T, Miyawaki C, Ue H, Kanda T, Yoshitake Y, Moritani T. Comparison of thermogenic sympathetic response to food intake between obese and non-obese young women. *Obes. Res.* 9: 78-85, 2001
- 20) 脇坂しおり, 松本雄大, 永井元, 村絵美, 森谷敏夫, 永井成美 : 摂取する水の温度と量がヒトの胃運動に及ぼす影響. *日本栄養・食糧学会誌* 64: 19-25, 2011
- 21) Parkman HP, Hasler WL, Barnett JL, Eaker EY; American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force. Electrogastrography, a document prepared by the gastric section of the American Motility Society Clinical GI Motility Testing Task Force. *Neurogastroenterol. Motil.* 15: 89-102, 2003
- 22) 永井成美, 脇坂しおり, 高木絢加, 他 : 香辛料を含むスープの摂取が胃運動と食欲に及ぼす作用. *栄養学雑誌* 70: 17-27, 2012
- 23) Adachi H, Kamiya T, Hirako M, Misu N, Kobayashi Y, Shikano M, Matsuhisa E, Kataoka H, Sasaki M, Ohara H, Nakao H, Orito E, Joh T. Improvement of gastric motility by hemodialysis in patients with chronic renal failure. *J. Smooth Muscle Res.* 43: 179-189, 2007
- 24) Carrier J, Monk TH, Buysse DJ, Kupfer DJ. Sleep and morningness-eveningness in the 'middle' years of life (20-59y). *J. Sleep. Rrs.* 6: 230-237, 1997

- 25) 石原金由, 三宅進: 朝型-夜型と加齢. 臨床脳波 30: 635-640, 1988
- 26) 本間由佳子, 石原金由, 三宅進: 朝型-夜型における活動数のサーカディアンリズム. 生理心理学と精神生理学 10: 35-43, 1992
- 27) 石原金由, 江口由佳子, 三宅進: 現代人の朝型-夜型 児童・生活の睡眠・覚醒習慣を中心に. 臨床脳波 35: 735-740, 1993
- 28) 山地哲司: 運動処方のための心拍数の科学. pp. 27-33, 大修館書店, 東京, 1994
- 29) Åstrand PO, Rodahl K. Textbook of Work Physiology, pp. 344-345 NY, McGraw-Hill, New York, 1977
- 30) Yamaguchi M, Kotani K, Sakane N, Tsuzaki K, Takagi A, Wakisaka S, Moritani T, Nagai N. The CLOCK 3111T/C SNP is associated with morning gastric motility in healthy young women. *Physiol Behav.* 20: 87-91, 2012
- 31) Konturek PC, Brzozowski T, Konturek SJ. Gut clock: implication of circadian rhythms in the gastrointestinal tract. *J. Physiol Pharmacol.* 62:139-150, 2011
- 32) LeSauter J, Hoque N, Weintraub M, Pfaff DW, Silver R. Stomach ghrelin-secreting cells as food-entrainable circadian clocks. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 106: 13582-13587, 2009
- 33) Mistlberger RE. Circadian food-anticipatory activity: formal models and physiological mechanisms. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 18: 171-95, 1994
- 34) 二木武: 小児の発達栄養行動—摂食から排泄まで. 生理・心理・臨床— pp. 75-77, 医歯薬出版, 1997

4. 研究 2 スマートフォンの夜間使用（ブルーライト）と 起床後の心臓自律神経活動との関連

4.1 要旨

【目的】 青少年の間で，スマートフォンが普及している。しかし，電子機器を通してのブルーライトの夜間曝露は，概日リズム相の遅延および朝の体調不良の状態を誘発することが知られている。そこで，夜間のスマートフォン使用が寮生の睡眠覚醒サイクルおよび覚醒後の心臓自律神経活動に影響するかどうかを調べた。

【方法】 高校生の研究参加者は，門限，学習，食事，消灯，起床等の生活時間に関する規則のもとで寮生活をしている。寮では，自室でテレビとパーソナルコンピュータを使用することが禁じられ，スマートフォンの使用のみが許可されていた。事前のスマートフォン使用についての調査から，年齢，性別，運動回数でマッチングさせて選択し，長時間群（ $n = 22$ ， > 120 分）および短時間群（ $n = 14$ ， ≤ 60 分）の 2 群で，睡眠－覚醒リズム位相と心臓自律神経活動，血圧，および耳内温等の生理的指標を比較した。全ての測定は，寮内で午前 6 時 30 分から午前 7 時までに行った。

【結果】 短時間群と比較すると，長時間群では心拍数が高い傾向が示されるとともに，心臓自律神経活動が有意に低かった（ $2,727 \pm 308$ vs. $4,455 \pm 667$ ms²， $p = 0.030$ ）。加えて，平日の就寝時刻の遅延と，休日の起床時刻の遅延も認められた。血圧と耳内温には，2 群間で差がなかった。

【結論】 この対象集団では，夜間のスマートフォンの使用が睡眠－覚醒リズム位相の変化に関連し，覚醒後の心臓自律神経活動が低下していた。

4.2 緒言

青年期において、睡眠の質は健康、発達、学校の成績にとって重要である¹⁾。しかし、LEDを組み込んだ電子デバイスを使用する機会が増加しており²⁾、特に、青年期でのスマートフォンの普及は顕著である²⁾。青少年は他のどの世代よりも長くスマートフォンを介してビデオメディアを視聴し、就寝前にソーシャルメディアを使用していると報告されている³⁾。また、青年期は睡眠-覚醒リズム位相が後退する可能性が高いため⁴⁾、夜間にスマートフォンを使用すると、睡眠や昼間の活動に悪影響を及ぼす懸念がある。

スマートフォンの画面から放射される光は、短波長の光を含むので、朝の太陽光の波長に似ている⁵⁾。朝の太陽光は脳の中核時計を駆動し、概日リズム位相を制御する⁶⁾。したがって、ブルーライトへの夜間の曝露の影響により、体内時計が攪乱され、睡眠-覚醒リズムが変化する可能性がある⁷⁾。しかし、睡眠-覚醒リズム位相における夜間のスマートフォンの使用の影響や、青少年の朝の体調状態への影響に関しては、十分に検討されていない。

自律神経活動は、ヒトの内部環境の恒常性に寄与している。休息（睡眠）と日常活動の規則的な相互作用は、中核時計の出力に依存しており、交感神経活動と副交感神経活動のバランスの変化を伴っている⁸⁾。心拍変動は心臓の交感神経および副交感神経活動によって変化するので、心拍変動（HRV）解析は、心臓自律神経活動の非侵襲的かつ信頼できる測定方法として、小児や青年期を含むさまざまな研究で採用されてきた^{9,10)}。

これまでに、睡眠-覚醒位相が後退した、夜型傾向の若年女性では、

朝型傾向群と比較して、朝の心臓自律神経活動が低かったことが見出されている^{11,12)}。また、小学校の児童では、肥満の児童は、同年齢、同性別の痩せの児童に比べて心臓自律神経活動が低下していることも実測により検証されている^{13,14)}。興味深いことに、心臓自律神経活動は、1年間の学校で行われた運動プログラム後に有意に高まったことも報告されている¹⁵⁾。したがって、起床後の心臓自律神経活動を非侵襲的に測定する手法を用いると、青年期の体内時計により制御されている朝の生物学的状態を決定するのに有用であると考えられた。

夜間のスマートフォン使用の影響を明確にするためには、研究参加者の選択が重要である。本研究では、寮に住む高校生にこの研究に参加するよう依頼した。A高校の寮は、山間部にある科学研究都市に位置する高校に生徒が通うために建てられたものである。この高校の寮に住む生徒は、門限、勉強、食事、消灯、起床時刻が決められており、厳格な規則のもとで生活していた。この寮では、生徒が自室にテレビやパーソナルコンピュータを置くことが許可されていなかったため、スマートフォンが、生徒が自室で利用できる唯一の液晶画面を有する電子機器であった。また、食事時刻は定時に提供されていた。以上の条件は、本調査の目的を達成するためにアドバンテージであった。本研究は、夜間のスマートフォンの使用が、高校生の睡眠－覚醒リズムと覚醒後間もなくの心臓自律神経活動に影響を与えるかどうかを、調べることであった。

4.3 方法

4.3.1 研究参加者

本研究参加者は、研究1と同じ、A高校に在籍している15歳から18

歳までの 36 名の寮生であった。心臓自律神経活動は、年齢および習慣的な運動の影響を受けやすい¹⁴⁾。さらに、国内の調査¹⁶⁾および寮生に行ったパイロット調査では、スマートフォンの使用期間は、年齢、性別、生活習慣の要素によって異なる場合があることが明らかになっていた。そのため、夜間のスマートフォンの使用が睡眠－覚醒リズムと心臓自律神経機能に影響を与えるかどうかを検証するために、年齢、性別、運動習慣のマッチングを行った。マッチング後に長時間 ($n = 22, > 120$ 分)、および短時間 ($n = 14, \leq 60$ 分) の 2 群で各質問項目、測定項目を比較した。インフォームドコンセントに関しては、研究参加者の生徒とその保護者に、研究の詳細について詳細な説明を、生徒には口頭で、保護者には文書による説明を行った。全研究参加者は、健康で、心血管疾患、糖尿病、または他の内分泌疾患の病歴がなく、これらの疾病に関連する投薬も受けていなかった。研究参加者の特徴は、表 4-1 に示した。

この研究は、兵庫県立大学環境人間学部研究倫理委員会（2014 年 4 月 28 日、088 号）による審査を受け承認された。また、ヘルシンキ宣言に準拠して実施した。

4.3.2 生活習慣調査

測定の前に、研究参加者は、現在の健康状態、食事習慣、運動習慣、睡眠－覚醒時刻、睡眠時間、およびその他の生活習慣に関して、生活習慣質問票¹⁷⁾による調査を実施した。運動習慣に関しては、1 週間の運動回数を調べた。スポーツ活動の回数は、体育館や運動場で毎回 60 分以上行われたサッカー、野球、バレーボール、テニス、その他の運動を含んでいる。

4.3.3 スマートフォン使用の評価

スマートフォンに関しては，研究参加者が所持しているかどうか，平日の1日の平均的な使用時間，および，いつ，どれくらいの長さでスマートフォンの「画面を見ているか」について分単位で回答を得た。調査時（5月）の日没時刻は，概ね18時ちょうどであったため，18時から就寝時までのスマートフォン使用を「夜間使用」と定義した。

4.3.4 生理学的検査

試験前日には，すべての研究参加者にコーヒー，紅茶，辛い食べ物，高脂肪食の摂取を避けるように依頼した。研究参加者には，前夜の午後10時以降の絶食後，午後6時30分頃に，男子寮または女子寮のそれぞれの寮のラウンジに臨時で設置した測定室に来室してもらった。体重および体脂肪率は，生体電気インピーダンスアナライザー（Innerscan, 50BC-528, TANITA Co., Tokyo, Japan）を用いて測定し，血圧は座位で血圧計（HEM-7000, オムロン株式会社，京都，日本）を使用して測定した。BMIは体重を身長（自己報告）の二乗で割り算出した。次に，心電図（ECG）と耳内温測定のために電極を装着した。5分以上の安静期間の後，座位でECGを10分間連続的に記録した。安静時心拍数の値は，ECGの記録から平均心拍数を算出した。同時に測定した耳内温は，耳栓式の装置を用いて，高感度サーモセンサを内蔵した体温測定装置（日機装サーモ工業株式会社，東京，日本）を参加者の左耳に装着して行った。温度が平衡に達した時点を鼓膜近似温とし，深部体温の指標として用いた¹⁸⁾。すべての測定は午前6時30分から午前7時までの時間に行われ，5月中の8日間で実施した。

4.3.5 心臓自律神経活動の算出

本研究では、心拍変動パワースペクトル解析を用いて心臓自律神経活動を推定した。データサンプリングとパワースペクトル解析の詳細は、研究 1 に記載された通りに実施した^{9,10)}。心臓自律神経活動を定量化するために、交感神経活動と副交感神経活動の両者によって調節される低周波数成分 (LF, 0.035-0.15 Hz)、体温・熱産生に関与する交感神経活動を反映する超低周波数成分 (VLF, 0.007-0.035 Hz)、主に呼吸器系の副交感神経活動を反映する高周波成分 (HF, 0.15-0.5 Hz)、総自律神経活動の指標である Total Power (0.007-0.5 Hz) について、各周波数帯域の積分値を各パワーとして求めた^{9,10)}。

4.3.6 統計処理

データを平均 ± 標準誤差として表した。統計的手順は、Shapiro-Wilk 検定により各変数の正規性を調べた後に決定した。F 検定 (Levene の等分散性の検定) を正規分布の変数に対して行った後、Student の *t* 検定 (対応なし) もしくは Welch の *t* 検定を用いて、長時間群と短時間群を比較した。また、正規性のない変数に対しては、Mann-Whitney の U 検定を行った。全ての解析は、SPSS20 for Windows (IBM, Tokyo, Japan) を用いて行った。 $p < 0.05$ (両側検定) を有意水準とみなした。

4.4 結果

4.4.1 スマートフォンの使用状況

研究参加者は主にスマートフォンでメールを読んだり、メールやコメントを書いたり、インターネットサイトを見たり、その他の理由で画面

を見ていた。夜間の使用時間は、長時間群では 145.9 ± 7.0 分（120-230分）（平均 \pm 標準誤差 [最大値－最小値]），短時間群では 27.1 ± 4.4 分（0-60分）であった。

4.4.2 研究参加者の特徴

研究参加者の各群の特徴を表 4-1 に示した。年齢，身長，体重，体脂肪率，収縮期血圧，拡張期血圧，耳内温は，長時間群と短時間群で差はなかった。安静時心拍数は，短時間群と比較して長時間群では低下傾向を示した（ $p = 0.07$ ）。

表 4-1 研究参加者の特徴

	長時間群 ($n = 22$)	短時間群 ($n = 14$)	p 値 ^a
年齢 (歳)	16.2 ± 0.3	16.6 ± 0.2	0.17
性別 (男/女)	11 / 11	7 / 7	
身長 (cm)	163.1 ± 1.8	163.6 ± 1.8	0.86
体重 (kg)	58.4 ± 2.3	55.4 ± 1.7	0.36
Body mass index (kg/m^2)	21.9 ± 0.7	20.7 ± 0.4	0.15
体脂肪率 (%)	23.0 ± 2.0	18.1 ± 2.0	0.11
収縮期血圧 (mmHg)	111 ± 2	109 ± 3	0.67
拡張期血圧 (mmHg)	72 ± 2	67 ± 2	0.11
安静時心拍数 (bpm)	71.2 ± 2.1	65.6 ± 1.8	0.069
耳内温 ($^{\circ}\text{C}$)	35.8 ± 0.2	36.0 ± 0.1	0.47
MEスコア	25.1 ± 1.6	27.6 ± 2.4	0.36

平均 \pm 標準誤差

^a t 検定 (対応なし)。

4.4.3 心臓自律神経活動

心臓自律神経活動のパラメータを表 4-2 に示した。長時間群は、短時間群よりも Total ($p = 0.030$) および LF Power ($p = 0.023$) が有意に低値を示した。この結果は、覚醒後の心臓自律神経活動が低下したことを示している。長時間群は VLF Power が低値であったが、その差は統計的有意性に達しなかった ($p = 0.051$)。

表 4-2 自律神経活動指標の比較^a

	長時間群 ($n = 22$)	短時間群 ($n = 14$)	p 値 ^b
Total power (ms^2) ^c	2,727 \pm 308	4,455 \pm 667	0.030
VLF power (ms^2) ^d	760 \pm 123	1273 \pm 216	0.051
LF power (ms^2) ^e	1,569 \pm 187	2,468 \pm 370	0.023
HF power (ms^2) ^f	398 \pm 63	714 \pm 176	0.11

平均 \pm 標準誤差

^a 心拍変動の周波数成分^{19, 30)}。

^b t 検定 (対応なし)。

^c 総自律神経活動 (0.007-0.5 Hz)。

^d 体温・熱産生に關与する交感神経活動を反映する超低周波成分 (0.007-0.035Hz)。

^e 交感神経活動と副交感神経活動を反映する低周波成分 (0.035-0.15 Hz)。

^f 副交感神経系の活動を反映する高周波成分 (0.15-0.5 Hz)。

4.4.4 生活習慣

平日と休日の生活習慣の指標を表 4-3 に示した。平日の就寝時刻 ($p = 0.035$) および休日の起床時刻 ($p = 0.022$) は、短時間群よりも長時間群の方が有意に遅かった。睡眠時間は、2 群で、平日または休日の間には有意な差はなかった。食事時間は寮で決まっていたため、朝食時間または他の食事時間（データは示していない）には 2 群の間に差はなかった。運動習慣は両群間で差がなかった。

表 4-3 生活習慣の比較

	長時間群 ($n = 22$)	短時間群 ($n = 14$)	p 値 ^a
就寝時刻 平日 (時 : 分)	24:17 ± 0:13	23:21 ± 0:11	0.035
就寝時刻 休日 (時 : 分)	24:34 ± 0:14	23:58 ± 0:18	0.21
睡眠時間 平日 (分)	358 ± 8	392 ± 15	0.18
睡眠時間 休日 (分)	467 ± 24	457 ± 17	0.29
起床時刻 平日 (時 : 分)	6:31 ± 0:06	6:08 ± 0:17	0.19
起床時刻 休日 (時 : 分)	8:29 ± 0:10	7:31 ± 0:22	0.022
朝食時刻 平日 (時 : 分)	7:16 ± 0:03	7:12 ± 0:02	0.27
朝食時刻 休日 (時 : 分)	9:02 ± 0:15	8:10 ± 0:17	0.040
運動習慣 (回/週)	2.9 ± 0.6	3.2 ± 0.8	0.70

平均 ± 標準誤差

^a Mann-Whitney の U 検定.

4.5 考察

この研究では2つの主要な知見を得た。第一に、長時間群は、自律神経活動指標、とりわけ交感神経活動を反映する **LF Power** の減弱が示された。また、第二に、長時間群は短時間群よりも平日の就寝時刻と週末の起床時刻が遅いことが示された。これらは、夜間のスマートフォン使用が青年期の者にネガティブな影響を及ぼすかどうかについて新たな知見を提供するものである。

4.5.1 夜間のスマートフォン使用と覚醒後の心臓自律神経活動

心臓自律神経活動は、加齢¹⁹⁾や生活習慣、または、ある種の精神疾患によって減弱することが知られている^{20,21,22,23)}。さらに、高い安静時心拍数や小さい心拍変動は、心機能の指標のみでなく、心血管疾患の危険因子としても報告されている^{14,24,25)}。そこで、本研究では、研究参加者を選ぶ時に健康な者を注意深く選び、2群の比較では年齢、性別、運動習慣（1週間の運動回数）でマッチングさせる作業を行い、参加者を長時間群と短時間群に割り当てた。

スマートフォンの長時間夜間使用が、低い心臓自律神経活動、特に交感神経活動も低かったという結果は、スマートフォン由来のブルーライトの影響を示唆しており、覚醒後まもなくの交感神経活動が低調である可能性を示している。自律神経活動の概日リズムは、夜間に副交感神経活動が優位であるが、このバランスは、交感神経活動の上昇と共に覚醒後に逆転する現象を示す²⁶⁾。さらには、交感神経および副交感神経活動の概日リズムは体液調節と同期していることも知られている²⁷⁾。たとえば、コルチゾールやメラトニンに関しては、血中コルチゾール濃度は習

慣的な起床時刻を予測してピークに達し、交感神経が刺激されるにつれて覚醒が起こるが^{27,28)}、夜間のブルーライト曝露は、このメラトニン分泌の概日リズムを変化させてしまうことが報告されている^{5,29)}。

まとめると、夜間のスマートフォン使用は、メラトニン分泌の抑制または遅延を引き起こした可能性があり、翌朝のコルチゾールの上昇期を遅らせ、覚醒後の心臓交感神経活動の低下をもたらしたと考えられる。メラトニンおよびコルチゾールの血中濃度は本研究では測定していないので、この推察を確認するためにはさらなる研究が必要である。

4.5.2 夜間のスマートフォン使用と睡眠覚醒サイクル

長時間群の平均就寝時刻は、短時間群と比較して、平日と休日ともに約1時間遅かった。さらに、長時間群では、平日より休日の起床時刻が約2時間も遅いことも示された。基本的に、すべての寮生は同じスケジュールで生活している。したがって、これらの結果は、夜間のスマートフォン使用が睡眠-覚醒リズム位相の後退に関連している可能性がある。さらに、起床時刻の遅延は、長時間群では平日にも観察されたが、この差は統計的有意性には達しなかった。その理由は、研究参加者が朝食時刻までに起床して、学校に通わなければならないという生活上の制約によるものであり、自由な生活下では有意差が生じたのではないかと考えられる。

これまでに、就寝前のブルーライト曝露によってメラトニン分泌が減少することや、就床から入眠までの時間が延長し、睡眠時間短縮が起こり、翌朝の覚醒度が減弱することが報告されている^{30,31)}。さらに、睡眠前にスマートフォンを見ることが、不眠症に関連しているとの報告もあ

る¹⁶⁾。スマートフォンが発するブルーライトは、パソコンやテレビよりも弱いですが、通常は、目から近い距離で操作や使用されるために、強い効果を発するとされている^{30,32)}。以上の知見と本研究の結果を併せると、夜間のスマートフォン使用は、睡眠の量と質の両方を悪化させ、昼間の眠気といった悪影響を及ぼし、青少年の昼間の精神的・身体的機能低下に関連する可能性がある。

4.5.3 研究の限界点

この研究にはいくつかの限界点がある。第一に、研究参加者の選択バイアスがあることが挙げられる。もちろん、研究対象の均質性はこの研究の強みである。研究参加者は同じ公立高校に在籍し、寮で生活し、睡眠以外の生活状況は均質な集団であった。しかし、本結果を一般化するためには、様々な対象を含むさらなる研究が必要である。第二に、メラトニンとコルチゾールの分泌が、睡眠-覚醒リズム位相を調節することが知られているが、本研究では侵襲的な検査ができなかったために、これらの血液指標を測定しなかった点である。第三に、心臓自律神経活動の測定が1時点のみであり、1日の変化については不明のままである点である。第四に、研究参加者は、同じ生活時間を基本としつつ睡眠に若干の自由度を有する集団であったため、睡眠時間の影響を排除できなかった点である。以上の限界点やサンプルサイズの小ささにも関わらず、本研究結果は、覚醒後間もなくの心臓自律神経活動の減弱と夜間スマートフォン使用の関係を明らかにし、青少年の精神的・身体的健康の改善に寄与する結果が得られたと考えられる。

4.6 引用文献

- 1) Perkinson-Gloor N, Lemola S, Grob A. Sleep duration, positive attitude toward life, and academic achievement: the role of daytime tiredness, behavioral persistence, and school start times. *J Adolesc.* 36: 311-318, 2013
- 2) 総務省：平成 25 年情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査 報告書（平成 26 年 9 月）。http://www.soumu.go.jp/iicp/chousakenkyu/data/research/survey/telecom/2014/h25mediariyou_3report.pdf.（アクセス日：2018 年 8 月 31 日）
- 3) 総務省：高校生のスマートフォン・アプリ利用とネット依存傾向に関する調査 報告書（平成 26 年 7 月）。http://www.soumu.go.jp/main_content/000302914.pdf.（アクセス日：2018 年 8 月 31 日）
- 4) Carskadon MA. Sleep in adolescents: the perfect storm. *Pediatr Clin N Am.* 58: 637-647, 2011
- 5) Cajochen C, Frey S, Anders D, Späti J, Bues M, Pross A, Mager R, Wirz-Justice A, Stefani O. Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *J Appl Physiol.* 110: 1432-1438, 2011
- 6) Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci.* 21: 6405-6412, 2001
- 7) Khalsa SB, Jewett ME, Cajochen C, Czeisler CA. A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *J Physiol.* 549: 945-952, 2003
- 8) Kalsbeek A, Scheer FA, Perreau-Lenz S, La Fleur SE, Yi CX, Fliers E, Buijs RM. Circadian disruption and SCN control of energy metabolism.

- FEBS Lett. 585: 1412-1426, 2011
- 9) Matsumoto T, Miyawaki C, Ue H, Kanada T, Yoshitake Y, Moritani T. Comparison of thermogenic response to food intake between obese and non-obese young women. *Obes Res.* 9: 78-85, 2001
- 10) Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability standards of measurements, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation.* 93: 1043-1065, 1996
- 11) 本窪田直子，駒居南保，鈴木麻希，林育代，森谷敏夫，永井成美：夜型指向性が若年女性の自律神経活動，胃運動および食欲感覚の日中の変動に及ぼす影響．*日本栄養・食糧学会誌* 69: 65-74, 2016
- 12) 山口光枝，渡邊敏明，高木絢加，脇坂しおり，坂根直樹，森谷敏夫，永井成美：女子大学生における生活リズムの朝型－夜型度と朝の自律神経活動の関連．*女性心身医学* 16: 160-168, 2011
- 13) Nagai N, Matsumoto T, Kita H, Moritani T. Autonomic nervous system activity and the state and development of obesity in Japanese school children. *Obes Res.* 11: 25-32, 2003
- 14) Nagai N, Moritani T. Effect of physical activity on autonomic nervous system function in lean and obese children. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 28: 27-33, 2004
- 15) Nagai N, Hamada T, Kimura T, Moritani T. Moderate physical exercise increases cardiac autonomic nervous system activity in children with low heart rate variability. *Childs Nerv Syst.* 20: 209-214, 2004
- 16) Munezawa T, Kaneita Y, Osaki Y, Kanda H, Minowa M, Suzuki K, Higuchi

- S, Mori J, Yamamoto R, Ohida T. The association between use of mobile phones after lights out and sleep disturbances among Japanese adolescents: a nationwide cross-sectional survey. *Sleep*. 34: 1013-1020, 2011
- 17) Carskadon MA, Vieira C, Acebo C. Association between puberty and delayed phase preference. *Sleep*. 16: 258-262, 1993
- 18) Takagi A, Taniguchi A, Komai N, Mura E, Nagai H, Moritani T, et al. Evaluation of postprandial core or peripheral temperatures after oral stimulation with carbonated water using a modified sham-feeding test. *J Jpn Soc Nutr Food Sci*. 67: 19-25, 2014
- 19) Abhishekh HA, Nisarga P, Kisan R, Meghana A, Chandran S, Raju T, Sathyaprabha TN. Influence of age and gender on autonomic regulation of heart. *J Clin Monit Comput*. 27: 259-264, 2013
- 20) Faulkner MS, Quinn L, Rimmer JH, Rich BH. Cardiovascular endurance and heart rate variability in adolescents with type 1 or type 2 diabetes. *Biol Res Nurs*. 7: 16-29, 2005
- 21) Koenig J, Kemp AH, Beauchaine TP, Thayer JF, Kaess M. Depression and resting state heart rate variability in children and adolescents—A systematic review and meta-analysis. *Clin Psychol Rev*. 46: 136-150, 2016
- 22) Parisotto V, Lima EM, Silva JM, de Sousa MR, Ribeiro AL. Cardiac sympathetic dysautonomia in children with chronic kidney disease. *J Nucl Cardiol*. 15: 246-254, 2008
- 23) Rodríguez-Colón SM, He F, Bixler EO, Fernandez-Mendoza J, Vgontzas AN, Calhoun S, Zheng ZJ, Liao D. Metabolic syndrome burden in apparently healthy adolescents is adversely associated with cardiac

- autonomic modulation—Penn State Children Cohort. *Metabolism*. 64: 626-632, 2015
- 24) Buchheit M, Platat C, Oujaa M, Simon C. Habitual physical activity, physical fitness and heart rate variability in preadolescents. *Int J Sports Med*. 28: 204-210, 2007
- 25) Farah BQ, Barros MV, Balagopal B, Ritti-Dias RM. Heart rate variability and cardiovascular risk factors in adolescent boys. *J Pediatr*. 165: 945-950, 2014
- 26) Kreier F, Yilmaz A, Kalsbeek A, Romijn JA, Sauerwein HP, Fliers E, Buijs RM. Hypothesis: shifting the equilibrium from activity to food leads to autonomic unbalance and the metabolic syndrome. *Diabetes*. 52: 2652-2656, 2003
- 27) Czeisler CA, Klerman EB. Circadian and sleep-dependent regulation of hormone release in humans. *Recent Prog Horm Res*. 54: 97-130, 1999
- 28) Leproult R, Copinschi G, Buxton O, Van Cauter E. Sleep loss results in an elevation of cortisol levels the next evening. *Sleep* 20: 865-870, 1997
- 29) Cajochen C. Alerting effects of light. *Sleep Med Rev*. 11: 453-464, 2007
- 30) Chang AM, Aeschbach D, Duffy JF, Czeisler CA. Evening use of light emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 112: 1232-1237, 2015
- 31) van der Lely S, Frey S, Garbazza C, Wirz-Justice A, Jenni OG, Steiner R, Wolf S, Cajochen C, Bromundt V, Schmidt C. Blue blocker glasses as a countermeasure for alerting effects of evening light-emitting diode screen exposure in male teenagers. *J Adolesc Health*. 56: 113-119, 2015

32) Oh JH, Yoo H, Park HK, Do YR. Analysis of circadian properties and healthy levels of blue light from smartphones at night. *Sci Rep.* 5: 11325, 2015

5. 研究3 ライフスタイル（睡眠－覚醒リズム）と

起床後の心臓自律神経活動との関連

5.1 要旨

【目的】睡眠－覚醒リズム位相の後退は日中の活動減弱や体調不良の一因となるが，青年期では位相後退が容易に生じやすい。そこで，“青年期の睡眠－覚醒リズム位相後退が起床後の自律神経活動の減弱と関連する”という仮説を立て，同じ環境・規則（食事，登校，門限，自由時間，入浴等）で生活しながら睡眠の自由度を有する高校寮生を対象に検討した。

【方法】A 高校寮生のうち研究への同意が得られた 75 名（男子 34 名，女子 41 名）を対象とした。起床から朝食までの間に，寮内で体重・体脂肪率，耳内温，心電図を測定した。生活習慣と ME スコアは質問紙で把握した。心電図生波形 R-R 間隔の周波数解析で心臓自律神経活動を求めた。性別に，各項目と心臓自律神経活動指標の単相関分析，さらに心臓自律神経活動を従属変数とし，就寝時刻，起床時刻，睡眠時間，ME スコア，1 週間の運動時間を独立変数とした重回帰分析を行った。

【結果】男子では，睡眠時間（ 403 ± 10 分）と心臓自律神経活動指標のうちの総自律神経活動と交感神経活動に他の変数とは独立して有意な正の関連（Total: $\beta = 0.48$, VLF: $\beta = 0.45$, LF: $\beta = 0.48$ ）が認められた。女子では，睡眠時間（ 365 ± 7 分）と交感神経活動で同様の結果が認められた（VLF: $\beta = 0.33$ ）。

【考察】青年期の慢性的な睡眠時間短縮は，朝の交感神経活動を減弱させる可能性がある。結果の性差に関しては，さらなる検討が必要である。

【結論】青年期において，起床後の低調な交感神経活動に睡眠時間の短さが関連していた。

5.2 緒言

睡眠（入眠）と覚醒は、毎日ほぼ同時刻に 24 時間周期で起こる生体現象であるため、睡眠－覚醒リズムと呼ばれている。このリズムの発現は、覚醒時に蓄積した疲労に対する休養という恒常性維持機構、および、自律的な周期活動を刻む視交叉上核（中枢時計）駆動による概日リズム機構によって制御されている¹⁾。この睡眠－覚醒リズムの維持には、自律神経系、内分泌系、代謝系などの生理機能が関わっているため、睡眠－覚醒リズムとこれら生理機能リズムの相互位相関係が適正に維持されることで、心身の機能維持が保たれる¹⁾。

しかし、社会環境の夜型化やスマートフォンを中心とする IT 機器の普及により、わが国における睡眠時間は経年的に短縮しており²⁾、世界でも最も睡眠時間の短い国のひとつとなっている³⁾。就寝時刻も経年的に遅延しており⁴⁾、睡眠－覚醒リズム位相の後退の心身への影響が懸念される。とりわけ青年期では、他の年代と比べてスマートフォン所持率が高く使用時間が長いこと⁵⁾、概日リズムの特徴として睡眠－覚醒リズム位相の後退が起りやすい時期であることから^{6,7)}、ライフステージの中でも社会環境や生活の夜型化の影響受けやすいと考えられる。睡眠－覚醒リズム位相の後退は昼間の学業やスポーツのパフォーマンス低下につながることや⁸⁾、不眠や睡眠の質低下により、不登校などの問題行動につながりやすいことも指摘されている⁹⁾。しかし、青年期（以下、高校生と記す）において、睡眠－覚醒リズムと起床後まもなくの生理機能の関連については不明な点が多い。

中枢時計の制御下で生体調節に関わる自律神経系（交感・副交感神経系）の活動は、心拍変動解析により非侵襲的な定量化が可能であり¹⁰⁾、

この測定法を用いた研究では、低い自律神経活動が不定愁訴¹¹⁾や将来の心疾患¹²⁾などの危険因子であることが示唆されている。また、小児肥満¹³⁾や小児の糖尿病¹⁴⁾で自律神経活動が低下する反面、身体活動・運動^{15,16)}が小児の自律神経活動レベルを高めることも知られている。しかし、睡眠-覚醒リズム（就寝・起床時刻や睡眠時間）と自律神経活動の関連については、幼稚園児¹⁷⁾や成人¹⁸⁾での研究が散見されるのみで、高校生対象の研究は調べた限りにおいて見つからず、起床後間もなくの測定データも見当たらなかった。

そこで、高校の学生寮で決められたスケジュール（門限、夕食、入浴、自由時間、朝食、登校時刻等）に従って生活しているが、自室での入眠や睡眠には若干の自由を有する男女寮生を対象とすれば、睡眠-覚醒リズム（就寝時刻、起床時刻、睡眠時間）が起床後間もなく（午前6時30分～7時）の自律神経活動に与える影響を明らかにできると考えた。そこで本研究では、“青年期の睡眠-覚醒リズム位相後退は、起床後の自律神経活動を減弱させる”という仮説を立て、高校寮生を対象として以下の方法で検討を行った。

5.3 方法

5.3.1 研究参加者

研究参加者は、研究1と同じ、H県の山間部に位置するA高校の寮生75名（男子34名、女子41名）であった。寮生は決められた門限・入浴・自由時間・消灯（午後10時）・起床・食事時刻（朝食、夕食）・登校時刻に従い規則正しい生活をしてきた。周囲の徒歩圏内にはコンビニエンスストアを含め食料品を入手できる店舗はなく、夜間の寮周辺は照明がな

い環境であった。平日の食事は全員が寮の食堂（朝食・夕食）、学校の食堂（昼食）を利用しており、各自が自由に摂取できる食物は、間食（食堂の準備・営業時間内にアイスクリームと肉まんの購入が可能）、寮の自動販売機（清涼飲料水、スポーツドリンク、牛乳）、帰宅時に寮に持ち帰る食品（保存のきくインスタント食品、菓子類等。自室に冷蔵庫は無い）が主なものであった。

研究参加者の募集では、まず、寮生全員が参加する寮生集会で、研究実施者が研究内容をパワーポイントと資料を用いて測定場面の実演を交えて説明し、その後に寮生の保護者に説明文書を配布した。研究参加への同意が本人と保護者の両方より書面で得られた 75 名を研究参加者として調査や測定を依頼した。研究参加者の身体的特徴は表 1 に示した。

本研究の実施にあたっては、研究参加者の個人情報保護や倫理的配慮を盛り込んだ研究計画書を作成し、兵庫県立大学環境人間学部研究倫理委員会の審査と承認を受けた（No. 088, 2014 年 4 月 28 日承認）。全てのデータは ID で匿名化するとともに、氏名が記された質問紙の表紙部分は A 高校で、質問紙本体は大学の研究室で保存した。この両者は非連結とし、個人が特定できないように配慮した。

5.3.2 生活習慣および朝型－夜型の調査

生活習慣は、既報¹⁹⁾で用いた質問紙で調査した。食習慣は、朝食、昼食、夕食の摂取時刻を、睡眠状況は、就寝時刻、起床時刻、睡眠時間について、それぞれ平日と休日の状況を調べた。運動習慣に関しては、1 週間の運動回数と 1 回あたりの時間を調べた。

朝型－夜型質問紙は、小児～青年期を対象とした研究において質問紙

の信頼性と妥当性が確認された英語版質問紙^{20,21,22,23)}を、石原ら²⁴⁾が邦訳した日本語版 MES-C を使用した。この日本語版 MES-C では、10 項目の質問への各回答を 1-5 点で採点し、合計点を ME スコアとする。ME スコアが低いほど夜型傾向、高いほど朝型傾向にあると評価される。

5.3.3 生理学的検査

研究参加者には、検査日前日にはカフェイン、香辛料、油の多い食事と、いつもよりも激しい運動を避けること、午後 10 時以降の絶食と普段通りの就寝、検査当日は午前 6 時以降の水分制限、および朝食前に男子寮、女子寮の 2 階の談話室に臨時で設置した測定室にエレベータを使用して来ることを依頼した。測定日のスケジュールは図 1 に示した。測定日は全部で 8 回設け、平成 26 年 5 月中に行った。午前 6 時 30 分～7 時の間に、研究参加者は自室を出て談話室 (21-23℃) に入り、体重と体脂肪率 (体組成計インナースキャン 50BC-528, 株式会社タニタ, 東京), および血圧 (OMRON HEM-7000, オムロン株式会社, 京都) を測定した。身長は、本人の自己申告値を用い、この身長と体重から BMI を計算式 (体重 [kg] / 身長 [m]²) で求めた。次に電極と体温センサーを装着し、座位安静状態で、深部体温の指標として耳内温、および CM5 誘導で心電図を 10 分間サンプリングした。耳内温測定では、水泳競技用耳栓の内側に直径約 1 mm の高精度サーモセンサーを設置したサーミスタを独自に開発し (耳栓式サーミスタ温度プローブ, 日機装サーモ会社, 東京), これを左耳に装着・閉塞し、同社製造のデータロガ (高精度 8 チャンネルデータロガ, N542R) を使用して 10 秒毎の体温をコンピューターのハードディスク内に保存した。測定は静かで刺激が少ない室内環境で行うと

ともに、測定中には会話と体動，居眠りをしないことを依頼した。

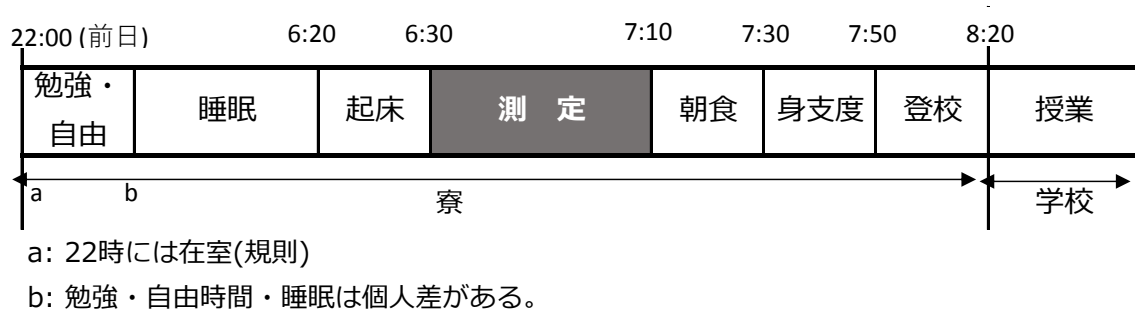


図 5-1 寮生活と測定日のスケジュール

5.3.4 自律神経活動の測定と評価

心電図は既報^{10, 25)}に基づく方法でサンプリングとパワーの解析を行い、安静時心拍数（以下、心拍数と記す）と自律神経活動指標を算出した。各自律神経活動指標は、心電図生波形より得た R-R 間隔の連続データを高速フーリエ変換して各周波数成分に分離する方法で定量した。得られたパワースペクトルを、1 分間に約 1 回の周期で体温・熱産生に關与する交感神経活動とされる超低周波数帯域（0.007-0.035 Hz, Very-low frequency Power, 以下 VLF Power と記す）、主に交感神経活動（一部に副交感神経活動を含む）を反映する低周波数帯域（0.035-0.15 Hz, Low-frequency Power, 以下 LF Power と記す）、副交感神経活動を反映する高周波数帯域（0.15-0.5 Hz, High-frequency Power, 以下 HF Power と記す）、および総自律神経活動（0.007-0.5 Hz 間の総和、以下 Total Power と記す）として、各周波数帯域の積分値をパワーとして求めた²⁵⁾。

5.3.5 統計処理

データは平均 ± 標準誤差で表した。各変数の統計解析方法は、正規性を Shapiro-Wilk 検定で確認した上で決定した。男女の比較には、正規性のある変数（身体的指標と自律神経活動指標）に対しては F 検定（Levene の等分散性の検定）を行い、Student の t 検定（対応なし）もしくは Welch の t 検定を用いた。また、正規性のない変数（生活習慣〔就寝時刻、起床時刻等〕）に対しては、Mann-Whitney の U 検定を用いた。2 変数の相関は、Pearson の積率相関係数を用いて分析を行った。起床後間もなくの心臓自律神経活動に影響を及ぼす要因を検討するために、各自律神経活動指標を従属変数として、ME スコア、休日の就寝時刻、休日の起床時刻、平日の睡眠時間、1 週間の運動時間を独立変数とした重回帰分析（強制投入法）を行った。独立変数は、睡眠－覚醒リズムと生活習慣に関連が認められた項目の中から、共線性を有さない 5 項目とした。統計処理は SPSS Statistics 24 for Windows（IBM，東京）を用い、検定の有意水準は 5%（両側検定）とした。

5.4 結果

5.4.1 研究参加者の身体的特徴と生活習慣

表 5-1 に、研究参加者の身体的特徴と生活習慣を性別に示した。身体的特徴では、男子は女子よりも、身長 ($p < 0.001$)、体重 ($p < 0.001$)、収縮期血圧 ($p < 0.001$)、Total Power ($p = 0.032$)、LF Power ($p = 0.024$)、および VLF Power ($p = 0.017$) が有意に高く、女子は男子よりも、体脂肪率 ($p < 0.001$)、耳内温 ($p = 0.002$)、および心拍数 ($p = 0.004$) が有意に高かった。生活習慣では、男子は女子よりも 1 週間当たりの運動時

間が有意に長かった ($p = 0.001$)。

表 5-1 身体的及び生理的特徴

	男子 ($n = 34$)	女子 ($n = 41$)	p 値
年齢 (歳)	16.1 ± 0.2	16.1 ± 0.1	0.86
身長(cm)	168.3 ± 1.0	157.6 ± 0.8	<0.001
体重 (kg)	61.3 ± 1.5	53.0 ± 1.1	<0.001
body mass index (kg/m ²)	21.6 ± 0.4	21.3 ± 0.4	0.63
体脂肪率 (%)	14.5 ± 1.0	26.9 ± 0.9	<0.001
収縮期血圧 (mmHg)	114.1 ± 0.9	105.4 ± 1.5	<0.001
拡張期血圧 (mmHg)	67.3 ± 1.3	70.9 ± 1.3	0.053
安静時心拍数 (bpm)	61 ± 2	68 ± 2	0.004
耳内温 (°C)	35.70 ± 0.10	36.07 ± 0.06	0.002
自律神経活動指標			
Total power (ms ²) ^a	4,984 ± 778	3,139 ± 289	0.032
VLF power (ms ²) ^b	1,542 ± 279	814 ± 91	0.017
LF power (ms ²) ^c	2,963 ± 467	1,801 ± 163	0.024
HF power (ms ²) ^d	479 ± 71	524 ± 81	0.68
MEスコア	27.3 ± 0.9	28.5 ± 0.7	0.29
運動時間 (分/週) ^e	658 ± 60	336 ± 63	0.001

平均 ± 標準誤差。t 検定 (対応なし)。

^a: 総自律神経活動を示す。

^b: 体温・熱産生に関与する交感神経活動を示す。

^c: 主に交感神経活動 (一部に心副交感神経活動を含む)を示す。

^d: 副交感神経活動を示す。

^e: 運動実施者のみで解析した。(男子 28 名/女子 21 名), Mann-Whitney の U 検定。

5.4.2 睡眠－覚醒リズムと食事時刻

表 5-2 に、睡眠－覚醒リズムに関する指標と食事時刻の結果を性別に示した。睡眠－覚醒リズムでは、女子は男子よりも平日の就寝時刻が有意に遅く ($p = 0.025$)、睡眠時間が有意に短かった ($p = 0.004$)。食事時刻に関しては、朝食の喫食時間（午前 7 時 10 分～7 時 50 分）、昼食の喫食時間（12 時 20 分～13 時）が短いためか、朝食時刻と昼食時刻には男女で差がなかった。夕食の喫食時間は、部活動等で遅くなる生徒のために長く設定してあるので他の 2 食より自由度が高い。男子は女子よりも夕食時刻が有意に遅かった ($p = 0.011$)。

表 5-2 睡眠－覚醒リズムと食事時刻

時刻		男子 ($n = 34$)	女子 ($n = 41$)	p 値
睡眠－覚醒リズム				
就寝	(平日)	23時31分 ± 10分	24時2分 ± 8分	0.025
	(休日)	23時59分 ± 13分	24時13分 ± 9分	0.15
起床	(平日)	6時32分 ± 6分	6時21分 ± 8分	0.48
	(休日)	7時55分 ± 12分	8時12分 ± 13分	0.30
睡眠時間	(平日)	403分 ± 10分	365分 ± 7分	0.004
	(休日)	478分 ± 19分	473分 ± 10分	0.43
食事時刻				
朝食	(平日)	7時15分 ± 2分	7時17分 ± 2分	0.30
昼食	(平日)	12時34分 ± 3分	12時30分 ± 1分	0.15
夕食	(平日)	19時13分 ± 8分	18時11分 ± 34分	0.011

平均 ± 標準誤差。Mann-Whitney の U 検定。

朝食(平日)は、朝食欠食者を除いた値である。(男子 32 名, 女子 36 名)。

5.4.3 睡眠－覚醒リズムと生活習慣，MEスコアの関連

表 5-3 に、睡眠－覚醒リズムを示す指標と生活習慣，MEスコアの関連を性別に示した。夕食時刻に関しては，男子では，夕食時間の遅さと睡眠時間（平日）の短さに有意な関連が認められた ($p = 0.020$)。女子では，夕食時間の遅さと起床時刻（平日）の遅さ ($p < 0.001$)，睡眠時間（平日）の長さ ($p = 0.028$) にそれぞれ有意な関連が認められた。1週間の運動時間に関しては，女子でのみ，起床時刻の早さと1週間の運動時間の長さに有意な関連が認められた ($p = 0.046$)。MEスコアでは，男子では就寝時刻（休日）の遅さ ($p = 0.002$)，および，起床時刻（休日）の遅さ ($p = 0.007$) と MEスコアの低さ（夜型の傾向を示唆する）が有意に関連していた。女子では，就寝時刻（休日）の遅さ ($p = 0.006$)，起床時刻の遅さ（平日： $p < 0.001$ ，休日： $p < 0.001$ ）と MEスコア低値が有意に関連していた。また，女子でのみ，睡眠時間（休日）の長さと MEスコア低値が有意に関連していた ($p = 0.027$)。

表 5-3 睡眠－覚醒リズムと生活習慣の関連

		男子 ($n = 34$)			女子 ($n = 41$)		
		夕食時刻 (平日)	1週間の 運動時間	MEスコア	夕食時刻 平日	1週間の 運動時間	MEスコア
就寝時刻	(平日)	0.20	0.10	-0.23	0.17	0.05	-0.30
	(休日)	-0.19	-0.09	-0.52 **	0.13	-0.05	-0.43
起床時刻	(平日)	-0.21	-0.12	0.06	0.54 **	-0.31 *	-0.60
	(休日)	-0.09	-0.15	-0.46 **	0.24	0.03	-0.63
睡眠時間	(平日)	-0.40 *	-0.14	0.25	0.36 *	-0.22	-0.17
	(休日)	0.01	-0.07	-0.19	0.20	-0.05	-0.35

** $, p < 0.01$; * $, p < 0.05$ (Pearson の相関検定)

MEスコアは，スコアが高いほど朝型であることを示す。

5.4.4 起床後の心臓自律神経活動に影響する要因

表 5-4 に、起床後の心臓自律神経活動に影響する要因の重回帰分析結果を性別に示した。心臓自律神経活動を従属変数とし、休日の就寝時刻、休日の起床時刻、平日の睡眠時間、ME スコア、1 週間の運動時間を独立変数とした。男子では、平日の睡眠時間と、総自律神経活動を示す Total Power ($R = 0.69$, $p = 0.002$)、体温・熱産生に関与する交感神経活動を示す VLF Power ($R = 0.67$, $p = 0.004$)、主に交感神経活動を示す LF Power ($R = 0.69$, $p = 0.002$) との間に、他の変数とは独立して有意な正の関連が認められた。女子では、平日の睡眠時間と VLF power との間に他の変数とは独立して有意な正の関連が認められた ($R = 0.50$, $p = 0.043$)。

表 5-4 心臓自律神経活動を従属変数とした重回帰分析結果

独立変数	男子 (n = 34)		女子 (n = 41)		
	標準化回帰係数	p 値	標準化回帰係数	p 値	
Total power	$R = 0.69, p = 0.002$		$R = 0.43, p = 0.20$		
	就寝時刻 (休日)	0.34	0.064	-0.22	0.20
	起床時刻 (休日)	0.20	0.25	-0.19	0.36
	睡眠時間 (平日)	0.48	0.003	0.28	0.096
	MEスコア	0.28	0.13	-0.16	0.43
1週間の運動時間	0.024	0.87	0.18	0.26	
VLF power	$R = 0.67, p = 0.004$		$R = 0.50, p = 0.043$		
	就寝時刻 (休日)	0.35	0.065	-0.28	0.091
	起床時刻 (休日)	0.18	0.32	-0.13	0.50
	睡眠時間 (平日)	0.45	0.006	0.33	0.039
	MEスコア	0.28	0.13	-0.22	0.061
1週間の運動時間	0.036	0.80	0.29	0.27	
LF power	$R = 0.69, p = 0.002$		$R = 0.48, p = 0.092$		
	就寝時刻 (休日)	0.32	0.086	-0.31	0.073
	起床時刻 (休日)	0.22	0.20	-0.12	0.54
	睡眠時間 (平日)	0.48	0.003	0.29	0.076
	MEスコア	0.28	0.13	-0.15	0.45
1週間の運動時間	0.038	0.79	0.21	0.17	
HF power	$R = 0.22, p = 0.19$		$R = 0.29, p = 0.66$		
	就寝時刻 (休日)	0.29	0.19	0.14	0.44
	起床時刻 (休日)	0.031	0.88	-0.29	0.19
	睡眠時間 (平日)	0.30	0.11	0.036	0.84
	MEスコア	0.10	0.66	-0.29	0.89
1週間の運動時間	-0.13	0.44	-0.12	0.49	

Total Power : 総自律神経活動。

VLF (Very-low-frequency) Power : 体温・熱産生に関与する交感神経活動。

LF (Low-frequency) Power : 主に交感神経活動 (一部に副交感神経活動を含む)。

HF (High-frequency) Power : 副交感神経活動。

5.5 考察

本研究では、門限、食事、入浴、登校時刻等の同じ生活時間を基本としつつ睡眠時間に若干の自由度を有する学生寮の高校生を対象として、青年期の睡眠－覚醒リズム（就寝・起床時刻、睡眠時間）が起床後間もなくの心臓自律神経活動に与える影響を、運動などの生活習慣や朝型－夜型指向性の影響とともに検討した。その結果、平日の睡眠時間の短さが、男子では起床後間もなくの総自律神経活動（Total Power）、体温・熱産生に関与する交感神経活動（VLF Power）、および、主に交感神経活動を示す LF Power の低さとの間に、女子では VLF Power の低さとの間に、それぞれ他の変数とは独立して関連していることが明らかとなった。

5.5.1 睡眠－覚醒リズムと心臓自律神経活動

本研究では、寮で決められたスケジュールに従って生活する高校生において、睡眠時間の短さと起床後の低い自律神経活動、中でも交感神経活動との間に関連が見出された。我々の既報では²⁶⁾、女子大学生（主に1年生）を対象とした朝の低調な自律神経活動（同測定・解析方法）には、睡眠時間ではなく睡眠－覚醒リズム位相の後退（約1時間夜側へ後退）が関連していた。本研究と既報の結果が一致しなかった理由として、研究対象の生活の自由度の違いが考えられる。本研究対象は、寮生活のため、就寝時刻が遅くなっても起床時刻を決められた朝食や登校時刻に合わせざるをえない制約があるため、睡眠時間が短くなったと考えられる。一方、女子大学生²⁶⁾はこのような時間の制約を比較的受けにくい自由度の高い対象であった。そのため、就寝時刻が遅くなると起床時刻も遅くなり、睡眠時間は短縮せず、睡眠－覚醒リズム位相のみが変化した

と考えられる。もう一つの理由として、朝の自律神経活動を測定した時刻や場所の違いが考えられる。本研究では起床直後に寮内の談話室で測定したが、女子大学生の研究では、起床直後ではなく、起床 1~2 時間後に大学内の実験室に来室して測定した。以上の測定条件の違いが影響した可能性はあるが、遅い就寝と睡眠時間の短縮は、どちらも青年期における朝の低調な自律神経活動に関連があることが示唆された。これらの要因が朝の自律神経活動へ及ぼす影響力の比較については、さらに詳細な検討を行う必要がある。

短時間睡眠と心臓自律神経活動との関連を検討した Dettoni et al.²⁷⁾によると、実験的に 5 時間未満の短時間睡眠を 5 日間継続させると、交感神経活動優位の神経バランスになったことを報告している。また、Zhong et al.²⁸⁾は、連続 36 時間の断眠実験で、時間の経過と共に交感神経活動優位となったことを報告している。これらの交感神経活動優位の結果は、睡眠不足時の眠気がストレスとなり交感神経活動が亢進した可能性がある。一方、本研究の参加者は、平日の平均睡眠時間が男女ともに 6 時間以上あり、極端な短時間睡眠の者も含まれていなかった。また、本研究では心臓自律神経活動指標を絶対値で評価したが、Zhong et al.²⁸⁾らは、交感/副交感神経バランスという相対値で評価し、加えて測定時刻も異なることから単純に本研究との比較はできない。しかし、本研究対象よりもさらに短時間睡眠の集団では、交感神経優位のバランスを示す可能性があると考えられる。

睡眠や睡眠-覚醒リズムが心機能に与える影響については、短時間睡眠は、成人における心血管疾患の発症²⁹⁾と死亡リスク³⁰⁾を高めることが報告されている。Tobaldini et al.¹⁸⁾は、急性的、および慢性的な睡眠不足

による交感神経活動優位の状態が、将来的に心血管疾患リスクを高める可能性があることを示している。本研究結果から、高校生においても短時間睡眠や極端な睡眠不足によって、成人と同様に心血管疾患リスクが高まる危険性が考えられる。

なお、本研究では、主に男子において睡眠時間の短さと心臓自律神経活動レベルの低さに強い関連が認められた。女子でも睡眠が短いことと低い VLF power のみで有意な関連性が認められたが、男子のように多くの自律神経活動指標との関連性は認められなかった。身体的特徴では、男子は女子に比べて総自律神経活動および交感神経活動が有意に高かった。性差については、国内³¹⁾・国外³²⁾の既報で、青年期の男子より女子の交感神経活動が低いことが報告されている。本研究においても、この青年期の自律神経活動の男女差が結果に影響した可能性が考えられるが、今後、性差に関する詳細な検討が望まれる。

5.5.2 運動習慣と心臓自律神経活動

定期的な運動によって、安静時心拍数が減少することや、副交感神経活動を示す周波数のパワーが増加することは数多く報告されている^{33,34,35)}。青年期においても、運動習慣が心臓の活発な自律神経活動に寄与することは、青年を対象とした研究からも明らかとなっている^{36,37)}。しかし、本研究では運動習慣と起床後間もなくの自律神経活動には明確な関連は認められなかった。その理由として、対象や測定時刻の違いによるものであることが推察される。研究参加者は、寮で生活しており、寮から高校への登校も全員が徒歩（約 0.5 km）である。クラブ活動（活動の時間帯は同じ）以外の身体活動量に違いがない集団であるために、

差が出にくかったのかもしれない。また、青年期の自律神経活動への運動効果の研究は、アスリートを対象としたものが多く^{34,35,36)}、寮に住む高校生を対象としたもの、起床後すぐのデータは見当たらない。運動習慣と起床後まもなくの自律神経活動の関連を明らかにするためには、さらなる研究が必要である。

本研究の新規性は、同じ生活環境、生活時間を基本としつつ、睡眠に若干の自由度を有する寮で生活する高校生において、睡眠－覚醒リズム指標と起床後の心臓自律神経活動との関連を報告している点であり、調べた限りにおいて初めての報告である。その一方で、いくつかの限界もある。1 高校のみで得られたデータであること、研究参加者の人数が限られていること、横断的研究であることであり、本結果の一般化には注意を要する。さらには、睡眠－覚醒リズムを適正にすると朝の心臓自律神経活動が改善されるかどうかについては、介入研究による検証や、縦断的な研究デザインによる追跡調査などによって、今後明らかにしていく必要がある。

本研究の結論として、同じ生活時間（門限、食事、入浴、登校時刻等）を基本としつつ睡眠時間に若干の自由度を有する、学生寮で生活する高校生男女において、起床後の低調な交感神経活動に、睡眠時間の短さが関連していることが示唆された。結果の性差についてはさらなる検討が望まれる。

5.6 引用文献

- 1) 三島和夫：睡眠覚醒と生物時計機構との関わり．睡眠科学 pp. 48-63, 化学同人，京都，2016
- 2) 総務省：平成 23 年社会生活基本調査．<http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011/pdf/houdou2.pdf> (アクセス日：2018 年 8 月 31 日)
- 3) OECD：Balancing paid work, unpaid work and leisure 2014, <http://www.oecd.org/gender/data/balancingpaidworkunpaidworkandleisure.htm> (アクセス日：2018 年 8 月 31 日)
- 4) NHK 放送文化研究所：2010 年 国民生活時間調査報告書．<https://www.nhk.or.jp/bunken/summary/yoron/lifetime/pdf/110223.pdf> (アクセス日：2018 年 8 月 31 日)
- 5) 総務省：平成 29 年版情報通信白書．<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/29honpen.pdf> (アクセス日：2018 年 8 月 31 日)
- 6) Andrade MM, Benedito-Silva AA, Domenice S, Arnhold IJ, Menna-Barreto L. Sleep characteristics of adolescents: a longitudinal study. *J Adolesc Health*. 14: 401-406, 1993
- 7) Crowley SJ, Van Reen E, LeBourgeois MK, Acebo C, Tarokh L, Seifer R, Barker DH, Carskadon MA. A longitudinal assessment of sleep timing, circadian phase, and phase angle of entrainment across human adolescence. *PLoS One*. 9: e112199, 2014
- 8) Dewald JF, Meijer AM, Oort FJ, Kerkhof GA, Bögels SM. The influence of sleep quality, sleep duration and sleepiness on school performance in children and adolescents: A meta-analytic review. *Sleep Med Rev*. 14:

179-189, 2010

- 9) 増田彰則：不登校と睡眠障害について．心身医 51: 815-820, 2011
- 10) Task Force of the European Society of cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate Variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*. 93: 1043-1065, 1996
- 11) Kimura T, Matsumoto T, Akiyoshi M, Owa Y, Miyasaka N, Aso T, Moritani T. Body fat and blood lipids in postmenopausal women are related to resting autonomic nervous system activity. *Eur J Appl Physiol*. 97: 542-547, 2006
- 12) Myers GA, Martin GJ, Magid NM, Barnett PS, Schaad JW, Weiss JS, Lesch M, Singer DH. Power spectral analysis of heart rate variability in sudden cardiac death: comparison to other methods. *IEEE Trans Biomed Eng*. 33: 1149-1156, 1986
- 13) Nagai N, Moritani T. Effect of physical activity on autonomic nervous system function in lean and obese children. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 28: 27-33, 2004
- 14) Massin MM, Derkenne B, Tallsund M, Rocour-Brumioul D, Ernould C, Lebrethon MC, Bourguignon JP. Cardiac autonomic dysfunction in diabetic children. *Diabetes Care*. 22: 1845-1850, 1999
- 15) Gutin B, Barbeau P, Litaker MS, Ferguson M, Owens S. Heart rate variability in obese children: relations to total body and visceral adiposity, and changes with physical training and detraining. *Obes Res*. 8: 12-19, 2000

- 16) Nagai N, Hamada T, Kimura T, Moritani T. Moderate physical exercise increases cardiac autonomic nervous system activity in children with low heart rate variability. *Childs Nerv Syst.* 20: 209-214, 2004
- 17) Sampei M, Murata K, Dakeishi M, Wood DC. Cardiac autonomic hypofunction in preschool children with short nocturnal sleep. *Tohoku J Exp Med.* 208: 235-242, 2006
- 18) Tobaldini E, Pecis M, Montano N. Effects of acute and chronic sleep deprivation on cardiovascular regulation. *Arch Ital Biol.* 152: 103-110, 2014
- 19) 石原金由, 内山 真, 横瀬宏美, 土井由利子: 短縮版朝型一夜型質問紙の開発. 日本睡眠学会第 39 回定期学術集会抄録集 p. 283, 日本睡眠学会, 東京, 2014
- 20) Negriff S, Dorn LD. Morningness/eveningness and menstrual symptoms in adolescent females. *J. Psychosom. Res.* 67: 169-172, 2009
- 21) Negriff S, Dorn LD, Pabst SR, Susman EJ. Morningness/ eveningness, pubertal timing, and substance use in adolescent girls. *Psychiatry Res.* 185: 408-413, 2011
- 22) Carskadon MA, Vieira C, Acebo C. Association between puberty and delayed phase preference. *Sleep.* 16: 258-262, 1993
- 23) Koscec A, Radosevic-Vidacek B, Bakotic M. Morningness–eveningness and sleep patterns of adolescents attending school in two rotating shifts. *Chronobiol Int.* 31: 52-63, 2014
- 24) 石原金由, 江口由佳子, 三宅進: 小・中学生における睡眠一覚醒習慣の変化. *睡眠と環境* 3: 90-97, 1995

- 25) Matsumoto T, Miyawaki C, Ue, H, Kanda T, Yoshitake Y, Moritani T. Comparison of thermogenic sympathetic response to food intake between obese and non-obese young women. *Obes Res.* 9: 78-85, 2001
- 26) 山口光枝, 渡邊敏明, 高木絢加, 脇坂しおり, 坂根直樹, 森谷敏夫, 永井成美 : 女子大学生における生活リズムの朝型－夜型度と朝の自律神経活動の関連. *女性心身医学* 16: 160-168, 2011
- 27) Dettoni JL, Consolim-Colombo FM, Drager LF, Rubira MC, Souza SB, Irigoyen MC, Mostarda C, Borile S, Krieger EM, Moreno H Jr, Lorenzi-Filho G. Cardiovascular effects of partial sleep deprivation in healthy volunteers. *J Appl Physiol.* 113: 232-236, 2012
- 28) Zhong X, Hilton HJ, Gates GJ, Jelic S, Stern Y, Bartels MN, Demeersman RE, Basner RC. Increased sympathetic and decreased parasympathetic cardiovascular modulation in normal humans with acute sleep deprivation. *J Appl Physiol.* 98: 2024-2032, 2005
- 29) Cappuccio FP, Miller MA. Sleep and Cardio-Metabolic Disease. *Curr Cardiol Rep.* 19: 110, 2017
- 30) Cappuccio FP, Cooper D, D'Elia L, Strazzullo P, Miller MA. Sleep duration predicts cardiovascular outcomes: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Eur Heart J.* 32: 1484-1492, 2011
- 31) Otsuka K, Kubo Y, Shinagawa M, Yamanaka T, Hasebe T, Omori K, Watanabe Y, Kazuma N, Kawada H, Kaneko M, Cornelissen G, Halberg F. Gender difference in heart rate variability in healthy Japanese. *Therapeutic Research.* 18: 89-94, 1997
- 32) Sharma VK, Subramanian SK, Arunachalam V, Rajendran R. Heart Rate

- Variability in Adolescents - Normative Data Stratified by Sex and Physical Activity. *J Clin Diagn Res.* 9: 8-13, 2015
- 33) Hottenrott K, Hoos O, Esperer HD. Heart rate variability and physical exercise. Current status. *Herz.* 31: 544-552, 2006
- 34) Hedelin R, Wiklund U, Bjerle P, Henriksson-Larsén K. Pre- and post-season heart rate variability in adolescent cross-country skiers. *Scand J Med Sci Sports.* 10: 298-303, 2000
- 35) Cayres SU, Vanderlei LC, Rodrigues AM, Silva MJ, Codogno JS, Barbosa MF, Fernandes RA. Sports practice is related to parasympathetic activity in adolescents. *Rev Paul Pediatr.* 33: 174-180, 2015
- 36) Henje Blom E, Olsson EM, Serlachius E, Ericson M, Ingvar M. Heart rate variability is related to self-reported physical activity in a healthy adolescent population. *Eur J Appl Physiol.* 106: 877-883, 2009
- 37) Oliveira RS, Barker AR, Wilkinson KM, Abbott RA, Williams CA. Is cardiac autonomic function associated with cardiorespiratory fitness and physical activity in children and adolescents? A systematic review of cross-sectional studies. *Int J Cardiol.* 236: 113-122, 2017

6. 総合考察

体内時計は生体のさまざまな生理現象に 24 時間の周期性を与え、変動する外的環境に生体のリズムを同調させる役割を有している。この体内時計による生体と外的環境との同調を妨げる要因には、遺伝や体質といった先天的な要因と、生活習慣のような後天的な要因がある。前者には、時計遺伝子の多型や朝型-夜型のクロノタイプなどがあり^{1,2,3,4)}、後者には、夜型のライフスタイルや平日と週末の生活リズムが大きく異なる「週末時差」や「シフトワーク」「夜勤」などがある。後者による慢性疲労蓄積などの弊害は「社会的時差ぼけ (social jet lag)」と呼ばれている^{5,6,7)}。

体内時計に関するヒトでの研究の多くは、どのような要因が体内時計の乱れにつながるのかを成人を対象として探求したものが多い^{1,2,5,6,7)}。体内時計の乱れが心身の不健康な状態や生活習慣病発症に関わっていることが良く知られた事実となっており、加えて、ヨーロッパの大規模研究⁸⁾からは青年期は一生のうちで最も夜型化が著しいライフステージであることも報告されている。青年期の健康は成人期以降にも引き継がれていくことから、青年期における体内時計と健康の関係を探求する本研究には、社会的な意義があると考えられる。

また、青年期では、クロノタイプと睡眠や生活習慣、学業パフォーマンスとの関連をみた研究が散見されるが^{9,10,11)}これらの研究のデータは、質問紙によって集められていることが多い。本研究では、質問紙による調査だけでなく、電気生理的な手法を用いて、心臓の自律神経活動や胃の電氣的活動をアウトカムとするなど、深部体温や血圧も含め、実測の生理的なデータを指標として、青年期の睡眠-覚醒リズムなどとの関連

を検討した点に新規性があると言える。さらに、本研究の強みとして、研究対象の生活習慣や生活環境の均質性が挙げられる。これまでの青年期の研究では、睡眠-覚醒リズムには、学校の始業時刻や就寝時刻の自由度が結果の交絡因子となり得ることが報告されてきた^{12,13,14)}。一方、本研究では、ライフスタイルと居住環境が均質な「山間部の高校の寮生」という集団を対象とした。ここまでに記した、本研究の社会的意義や新規性という点において、アドバンテージであるといえる。

次に、本研究で得られた3つの結果を概観し、総合的な考察へと発展させたい。

研究1では、クロノタイプが夜型傾向であっても、同じ生活環境、特に食事時間で生活する高校寮生では、朝の心臓自律神経活動や胃運動の減弱は生じていないことが明らかになった。既報¹⁵⁾では、生活の自由度が高い女子大学生の夜型傾向群で、朝の心臓自律神経活動や胃運動の減弱が生じていたことと併せて考察すると、生得性が高いとされるクロノタイプであるが、規則正しい生活習慣によって夜型のデメリットが出にくくなる可能性が示されたと考えられる。青年期への栄養（健康）教育において、「夜型の生徒にこそ、睡眠時間や規則正しい食事摂取で体内時計を整えることを推奨する教育が必要」であり、その根拠のひとつとなるデータであると考えられる。

研究2では、夜間の電子メディアの **Small Screen** を介したブルーライト刺激時間が推定可能な集団を対象として、スマートフォンの長時間使用が、起床後の低い心臓交感神経活動と関連するという結果が示唆された。この結果は、体が起きる準備を整え、朝の活力を高めるためには、小さなスクリーンであったとしても夜間にブルーライトを発する電子機

器への使用には配慮が必要であることを示しており、栄養（健康）教育における根拠として有用であると考えられる。

研究3では、起床後の低調な心臓交感神経活動には、生活習慣の中では睡眠時間の短さが最も強く関連していることが示唆された。解析前には、心臓自律神経活動には、運動や身体活動量が強く関連すると予想していたが、運動の影響は統計的に有意ではなかった。低い心臓自律神経活動は、青年においても、短時間睡眠¹⁶⁾や急性的、慢性的な睡眠不足¹⁷⁾により心血管疾患リスクが高まる、という既報をサポートする結果になっており、規則正しい生活や食事時間とともに、当たり前のようなことではあるが、睡眠時間を確保することが必要だということを示していると考えられる。

青年期は、全ライフステージの中でも、生理的に睡眠－覚醒リズム位相が後方へシフトしやすい時期であり、夜型生活の影響をどの年代よりも受けやすいといえる^{18,19)}。前述の、ヨーロッパにおける大規模調査⁸⁾では、睡眠時間の中央時刻が青年期は全年代中で最も後方にあり、夜型化は20歳前後でピークを迎えるまで続く。Roenneberg et al.²⁰⁾は、早い時間に寝つきにくいことが青年期の特質であると結論づけている。10代の就寝時刻は遅延していくが、それに反して、学校の登校時刻は学年が上がるにつれて早まる傾向があることや、そのために青年期の睡眠時間が大幅に短縮することも報告されている²¹⁾。本研究では、短時間睡眠が、朝の体調にネガティブな影響を及ぼす可能性が示されたが、青年期の睡眠の質と量をどのように確保するかが今後の重要な課題だろう。

以上に述べた、学校の始業時刻に関しては、国外の調査²²⁾では、始業時刻の早さが学業成績の低下²²⁾、メンタルヘルスの悪化²²⁾、通学中の交

通事故²³⁾と関連することが明らかにされており、始業時刻を30分遅くする実験によって、高校生の抑うつ感や倦怠感の改善が見られることが報告されている²⁴⁾。これらの実証的研究結果から、米国睡眠医学学会²⁵⁾では、現在の学校の登校時刻を遅らせるべきであるという声明を発表している。このように、青少年の健康づくりにおいて、睡眠時間の確保の点から、始業時刻を見直す取り組みが国際的に行われるようになった。

一方、国内では、日本小児保健協会²⁶⁾が、子どもの睡眠に関する提言を行い、“規則正しい睡眠－覚醒のリズムを築き、よい睡眠をとることは、子どもの健やかな発育発達と健康の保持増進のために極めて大切であり、よい睡眠をとるために生活習慣を改善する意義がある”と述べられている。さらに、文部科学省は、中高生を対象に睡眠習慣を中心とした生活習慣の改善の取り組みを行うための²⁷⁾、中学生向けの食育指導教材を作成し啓蒙を図っている²⁸⁾。今後は、栄養（健康）教育を含めた生活習慣指導のなかでも規則正しい生活と睡眠は必須であるといえるだろう。

ただし、本研究では、同じ献立の寮食（昼間は学生食堂での給食）を決められた時刻に食べている集団であったため、栄養素等摂取量や夕食時刻（早い・遅い）との関連性は検討していない。加えて、女子高校生においては、月経周期の測定値への影響が排除されていないことも限界点となっており、今後の研究が必要である。さらに、体内時計変調に影響を及ぼす因子を探求した研究であったが、横断的研究であるがゆえに、各因子と体内時計変調との因果関係は不明なままであることから、今後は、因子有り・無しの2群を設定した研究や介入研究による検証が必要であろう。中でも、健康への影響に関しては、健康指標をアウトカムとする長期の縦断的研究によって、体内時計変調に対する各因子のインパ

クトを明らかにして行く必要があると考えられる。以上のような限界点はあるものの、本研究では、文部科学省が提唱する「早寝早起き朝ごはん」の根拠となり得るデータを、学術誌での論文公表という形で提供できたことは一定の成果であったと考えている。今後の青年期を対象とした栄養（健康）教育プログラムの企画や実施等に役立てられ、青年期の健康づくりの一助となることを望みたい。

引用文献

- 1) Valenzuela FJ, Vera J, Venegas C, Muñoz S, Oyarce S, Muñoz K, Lagunas C. Evidences of Polymorphism Associated with Circadian System and Risk of Pathologies: A Review of the Literature. *Int J Endocrinol*. 2016: 2746909, 2016
- 2) Viola AU, James LM, Archer SN, Dijk DJ. PER3 polymorphism and cardiac autonomic control: effects of sleep debt and circadian phase. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 295: 2156-2163, 2008
- 3) Yamaguchi M, Kotani K, Tsuzaki K, Takagi A, Motokubota N, Komai N, Sakane N, Moritani T, Nagai N. Circadian rhythm genes CLOCK and PER3 polymorphisms and morning gastric motility in humans. *PLoS One*. 10: e0120009, 2015
- 4) Archer SN, Schmidt C, Vandewalle G, Dijk DJ. Phenotyping of PER3 variants reveals widespread effects on circadian preference, sleep regulation, and health. *Sleep Med Rev*. 40: 109-126, 2018
- 5) Yoshizaki T, Midorikawa T, Hasegawa K, Mitani T, Komatsu T, Togo F. Associations between diurnal 24-hour rhythm in ambulatory heart rate variability and the timing and amount of meals during the day shift in rotating shift workers. *PLoS One*. 9: e106643, 2014
- 6) Furlan R, Barbic F, Piazza S, Tinelli M, Seghizzi P, Malliani A. Modifications of cardiac autonomic profile associated with a shift schedule of work. *Circulation*. 102: 1912-1916, 2000
- 7) Boudreau P, Dumont GA, Boivin DB. Circadian adaptation to night shift work influences sleep, performance, mood and the autonomic modulation of

- the heart. PLoS One. 8: e70813, 2013
- 8) Roenneberg T, Kuehnle T, Pramstaller PP, Ricken J, Havel M, Guth A, Merrow M. A marker for the end of adolescence. *Curr Biol.* 14: 1038-1039, 2004
 - 9) Koscec A, Radosevic-Vidacek B, Bakotic M. Morningness–eveningness and sleep patterns of adolescents attending school in two rotating shifts, *Chronobiol Int.* 31: 52-63, 2014
 - 10) Collado Mateo MJ, Díaz-Morales JF, Escribano Barreno C, Delgado Prieto P, Randler C. Morningness-eveningness and sleep habits among adolescents: age and gender differences. *Psicothema.* 24: 410-415, 2012
 - 11) Giannotti F, Cortesi F, Sebastiani T, Ottaviano S. Circadian preference, sleep and daytime behaviour in adolescence. *J Sleep Res.* 11:191-199, 2002
 - 12) 石原金由：現代人の朝型－夜型 児童・生徒の睡眠・覚醒を中心に．
臨床脳波 35: 735-740, 1993
 - 13) Andrade MM, Benedito-Silva AA, Domenice S, Arnhold IJ, Menna-Barreto L. Sleep characteristics of adolescents: a longitudinal study. *J Adolesc Health.* 14: 401-406, 1993
 - 14) Yang CK, Kim JK, Patel SR, Lee JH. Age-related changes in sleep/wake patterns among Korean teenagers. *Pediatrics.* 115: 250-256, 2005
 - 15) 山口光枝，渡邊敏明，高木絢加，脇坂しおり，坂根直樹，森谷敏夫，永井成美：女子大学生における生活リズムの朝型－夜型度と朝の自律神経活動の関連．*女性心身医学* 16: 160-168, 2011
 - 16) Cappuccio FP, Miller MA. Sleep and Cardio-Metabolic Disease. *Curr Cardiol Rep.* 19: 110, 2017

- 17) Tobaldini E, Pecis M, Montano N. Effects of acute and chronic sleep deprivation on cardiovascular regulation. *Arch Ital Biol.* 152: 103-110, 2014
- 18) Crowley SJ, Acebo C, Carskadon MA. Human puberty: salivary melatonin profiles in constant conditions. *Dev Psychobiol.* 54: 468-473, 2012
- 19) Crowley SJ, Cain SW, Burns AC, Acebo C, Carskadon MA. Increased Sensitivity of the Circadian System to Light in Early/Mid-Puberty. *J Clin Endocrinol Metab.* 100: 4067-4073, 2015
- 20) Roenneberg T, Kuehnle T, Juda M, Kantermann T, Allebrandt K, Gordijn M, Merrow M. Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Med Rev.* 11: 429-438, 2007
- 21) 公益財団法人 日本学校保健会：平成 26 年度 児童生徒の健康状態サーベイランス 事業報告書. pp. 34-37, https://www.gakkohoken.jp/book/ebook/ebook_H280010/index_h5.html (アクセス日：2018 年 11 月 20 日)
- 22) Wheaton AG, Jones SE, Cooper AC, Croft JB. Short Sleep Duration Among Middle School and High School Students - United States, 2015. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 67: 85-90, 2018
- 23) Martiniuk AL, Senserrick T, Lo S, Williamson A, Du W, Grunstein RR, Woodward M, Glozier N, Stevenson M, Norton R, Ivers RQ. Sleep-deprived young drivers and the risk for crash: the DRIVE prospective cohort study. *JAMA Pediatr.* 167: 647-655, 2013
- 24) Owens JA, Belon K, Moss P. Impact of delaying school start time on adolescent sleep, mood, and behavior. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 164:

608-614, 2010

- 25) Watson NF, Martin JL, Wise MS, Carden KA, Kirsch DB, Kristo DA, Malhotra RK, Olson EJ, Ramar K, Rosen IM, Rowley JA, Weaver TE, Chervin RD; American Academy of Sleep Medicine Board of Directors. Delaying Middle School and High School Start Times Promotes Student Health and Performance: An American Academy of Sleep Medicine Position Statement. *J Clin Sleep Med.* 13: 623-625, 2017
- 26) 公益財団法人 日本小児保健協会：子どもの睡眠に関する提言．小児保健研究 60: 6, 2001
- 27) 文部科学省：平成 26 年度 中高生を中心とした子供の生活習慣が心身へ与える影響等に関する検討委員会．www.mext.go.jp/a_menu/shougai/katei/1351209.htm (アクセス日：2018 年 11 月 20 日)
- 28) 文部科学省：食生活学習教材（中学生用）（平成 21 年 3 月）．www.mext.go.jp/a_menu/shotou/eiyoubu/1288146.htm (アクセス日：2018 年 11 月 20 日)

7. 結 語

本研究では，“青年期の体内時計変調には，クロノタイプ（朝型－夜型指向性）や夜間の光刺激，ライフスタイル（睡眠－覚醒リズム）が関与する”という仮説を立て，同じ生活時間（門限，食事，入浴，登校時刻等）を基本とする，学生寮で生活する高校生男女を対象として，電気生理学的な研究手法（心電図，胃電図）を用いた検証を行った。

その結果，同じ生活時間を基本としつつ睡眠時間に若干の自由度を有する青年期の集団において，1) 規則的に食事を摂取している女子高校生では，朝型，夜型指向性者の両方で，朝食摂取前の空腹期胃運動が起こっていたこと，2) スマートフォンの夜間長時間使用が，起床後の低い交感神経活動と関連すること 3) 睡眠時間の短さと起床後の低い交感神経活動が関連することが示唆された。

以上のことから，青年期において，夜間の光刺激や食事時刻，睡眠－覚醒リズムが体内時計に影響を与える可能性が，生理的指標（心臓自律神経活動，胃運動）を用いた検討により示唆された。本研究で得られた知見が，青年期の健康維持・増進のための栄養（健康）教育の根拠のひとつとして活用されることを望みたい。

8. 謝 辞

本研究の遂行および本論文の作成にあたって、終始熱心なご指導を頂き、また温かいご助言を賜りました兵庫県立大学大学院環境人間学研究科、指導教官の永井成美教授に心より感謝申し上げます。本論文をまとめるにあたり、副指導教官の坂上元祥教授ならびに内田勇人教授には、丁寧なご指導を賜りましたことをお礼申し上げます。

名古屋大学大学院、小田裕昭准教授には、本論文に対して多くの有益なご指摘とご助言を頂き、深く感謝いたします。

本研究の解析、論文の執筆にあたり、自治医科大学地域医療学部門の小谷和彦教授ならびに京都産業大学現代社会学部健康スポーツ社会学科の森谷敏夫教授には、ご指導とご助言を賜り深く感謝いたします。

本研究に協力くださいましたA高校の寮生ならびに保護者の皆様、先生方および寮職員の方々に心より感謝申し上げます。また、高校生用の朝型一夜型質問紙の使用を許諾くださいました、ノートルダム清心女子大学人間生活学部教授、石原金由先生に深謝いたします。

また、研究にあたりご指導賜りました独立行政法人国立病院機構京都医療センター臨床医療研究センター予防医学研究室の坂根直樹室長をはじめ、研究室の皆様にご心よりお礼申し上げます。

最後になりましたが、研究や論文作成にご協力いただきました兵庫県立大学永井研究室の本田貴子様、大学院生の皆様、学部生の皆様にご感謝の意を表します。これまでの三年間に渡り、お支えくださいました皆様には、大変お世話になり、有難うございました。

業績目録

原著論文

第一著者

研究 1

能瀬陽子, 林育代, 藤永莉奈, 鈴木麻希, 小谷和彦, 永井成美: 寮で生活する女子高校生の朝型－夜型指向性と朝の胃運動, バイタル指標との関連. 栄養学雑誌 74: 157-164, 2016

研究 2

Nose Y, Fujinaga R, Suzuki M, Hayashi I, Moritani T, Kotani K, Nagai N. Association of evening smartphone use with cardiac autonomic nervous activity after awakening in adolescents living in high school dormitories. Child's Nervous System. 33: 653-658, 2017

研究 3

能瀬陽子, 是兼有葵, 小谷和彦, 永井成美: 短時間睡眠は学生寮で生活する高校生の起床後の低い交感神経活動と関連する. 小児保健研究 77: 355-363, 2018

共著

林育代, 鈴木麻希, 能瀬陽子, 湊聡美, 住友文, 二連木晋輔, 津崎こころ, 坂根直樹, 住友理浩, 高倉賢二, 永井成美: 日本人妊婦における妊娠前の体格, 体型認識と妊娠中の体重増加との関連. 肥満研究 23: 233-240, 2017

学会発表

第一著者

1. 能瀬陽子, 藤永莉奈, 是金有葵, 鈴木麻希, 林育代, 森谷敏夫, 永井成美: ブルーライトを光源とするスマートフォンの夜間使用が高校寮生の朝の胃運動と心臓自律神経活動に及ぼす影響. 第 71 回日本栄養・食糧学会大会, 兵庫, 2016
2. 能瀬陽子, 藤永莉奈, 是金有葵, 鈴木麻希, 森谷敏 3, 小谷和彦, 永井成美: 高校寮生のブルーライトを光源とするスマートフォンの夜間使用と朝の胃運動, 心臓自律神経活動との関連. 第 3 回時間栄養科学研究会, 東京, 2016
3. 能瀬陽子, 廣松千愛, 永井成美: 男子硬式野球部員の朝型-夜型指向性と除脂肪体重量との関連. 第 4 回時間栄養科学研究会, 名古屋, 2017
4. 能瀬陽子, 是兼有葵, 小谷和彦, 永井成美: 学生寮で生活する高校生の睡眠時間と起床後の交感神経活動. 第 5 回時間栄養科学研究会, 埼玉, 2018

共著

1. 永井成美, 林育代, 鈴木麻希, 能瀬陽子, 湊聡美 住友文, 二連木 晋輔, 津崎こころ, 小谷和彦, 坂根直樹: 妊娠前の体格やボディイメージと妊娠中の体重増加量との関連. 第 37 回日本肥満学会, 東京, 2016
2. Minato S, Sakane N, Hayashi I, Suzuki M, Nose Y, Nirengi S, Nagai N. Maternal dietary patterns and the risk of large-for-gestational age births. EASL. April 2018, Paris, France

3. 林育代, 鈴木麻希, 住友文, 能瀬陽子, 永井成美: 妊婦における社会経済的格差は, 児の出生体重を相対的に減少させるリスク因子である.
第 65 回日本栄養改善学会学術総会, 新潟, 2018