

＜シンポジウム (3)―10―3＞宇宙医学と神経内科

宇宙環境における睡眠・生体リズム調節

三島 和夫

(臨床神経 2012;52:1321-1324)

Key words : 宇宙空間, 睡眠, 生体リズム, スペースシャトル, 国際宇宙ステーション

宇宙医学の一分野に睡眠・生体リズム制御がある。1961年から始まった有人宇宙飛行以来、宇宙飛行経験者は現在までに約500人を数えようとしており、その多くが微小重力環境での睡眠を経験している。スペースシャトルでの短期ミッション時およびInternational Space Station (ISS)/Japan Experimental Module (JEM) (国際宇宙ステーション日本実験棟・きぼう)での長期滞在時ともに宇宙飛行士の心身のコンディションを維持するためには、質の高い睡眠を確保することが必須である。また、宇宙船や宇宙飛行士の安全と業務管理を担う地上運用管制官にも同様のことが当てはまる。しかしながら、ミッション中の宇宙飛行士や地上スタッフでは、不眠、睡眠不足、睡眠リズムの異常、それらにともなう眠気や集中力困難、倦怠感などなど睡眠問題の出現頻度はきわめて高い。宇宙飛行士の睡眠問題の病態生理を明らかにし、その予防対処法を開発するため、国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会の宇宙医学分野研究シナリオワーキンググループでは、2020年までの宇宙医学分野の重点研究分野の一つに生体リズムおよび睡眠・パフォーマンス障害を取り上げることによって決定した¹⁾。

宇宙環境における睡眠問題

宇宙環境における睡眠問題は滞在期間によってことなる。スペースシャトルによる短期ミッション(数日～数週間)、きぼうなど中長期的滞在(数カ月～)、そして火星飛行や月面・地球外惑星での居住など長期滞在時(数年～)の睡眠問題である。地球外惑星での長期滞在時にはその惑星の自転周期に体内時計が適応できるかという問題がある。ちなみに、月の自転周期は27日7時間43分、火星の自転周期は24.6時間である。

初の宇宙飛行士の睡眠

宇宙飛行士の睡眠に関する最初のレポートはソビエト連邦のゲルマン・チトフ(25歳)によってなされた。1961年8月6日、チトフはボストーク2号(Vostok2)で無重力状態が人体に与える影響をしらべるために軌道上を約1日飛行し

た。6:00(協定世界時UTC)にバイコヌール宇宙基地を発射し、軌道に入ると吐き気が出現し、その後14:00に嘔吐(宇宙酔い)している。めまい、吐き気、頭痛があったが15:30から23:37までの8時間37分にわたり眠っている。「すばらしい眠りだった。浮遊感の中、赤ちゃんのようにぐっすり眠った。」と答えたときられているが、予定睡眠時間より35分ほど長く眠ったものの覚醒時の気分は不良であったという。

Space Transportation System (STS)-90, STS-95からのデータ

Space Transportation Systemから宇宙空間における睡眠状態に関する有益な情報が多数えられている(スペースシャトル^{2)~4)}、スカイラブ⁵⁾、ミール⁶⁾⁷⁾。コロンビア号(STS-90)は1998年4月17日～5月3日(15日21時間50分、地球を255周)にかけて飛行し、スペースラブ(宇宙実験室)において宇宙の微小重力が生物の神経組織にあたえる影響について種々の科学実験をおこなった。また、ディスカバリー号(STS-95)は1998年10月29日～11月7日(9日19時間54分、地球を134周)にかけて飛行し、生物科学研究、太陽の地球の生命への影響をしらべた。STS-90, STS-95からのデータで宇宙空間における睡眠および生体リズムに関する数多くのデータがえられた(Table 1)。

宇宙飛行士には不眠が高頻度で見られる

宇宙飛行士では不眠は非常に頻度が高く、ミッション中の60%～70%の夜でクルーが不眠を自覚している。実際、睡眠薬の使用頻度が高い(Putchal, 1999, NASA資料)。睡眠薬はシャトル内で二番目に多く服用される薬物であり、クルーの77%が、またミッション中の50%の夜で睡眠薬(フルラゼパム、トリアゾラム、ジフェンヒドラミン、抱水クロラルなど)を服用している。睡眠薬を服用したクルーに限れば65%の夜で服用しており、ミッション中の18%の夜では2剤以上を使用している。

Table 1 宇宙空間での睡眠・生体リズム変化とその要因.

生理パラメーターの変化	宇宙空間で睡眠が低質になる要因
1) 夜間睡眠パラメータ	1) 微小重力環境による体液シフトによる身体環境の変化
睡眠時間：～6.5時間	2) 精神的緊張・ストレス、他のクルーの存在
主観的睡眠感：低下	3) 微小重力環境による宇宙酔い（前庭機能の変化）
睡眠後半の中途覚醒の増加	4) 騒音・寒さなどの就床環境
徐波睡眠の減少	5) 作業負荷（ミッションの遂行、睡眠不足）
帰還後のREM睡眠の増加	6) 特殊な光環境
2) 生体リズム障害	7) 生体リズム障害（内的脱同調）
深部体温リズムの振幅低下	8) 生体リズム変化（振幅低下）
尿中コルチゾールリズムの脱同調	
3) 精神運動機能の低下	

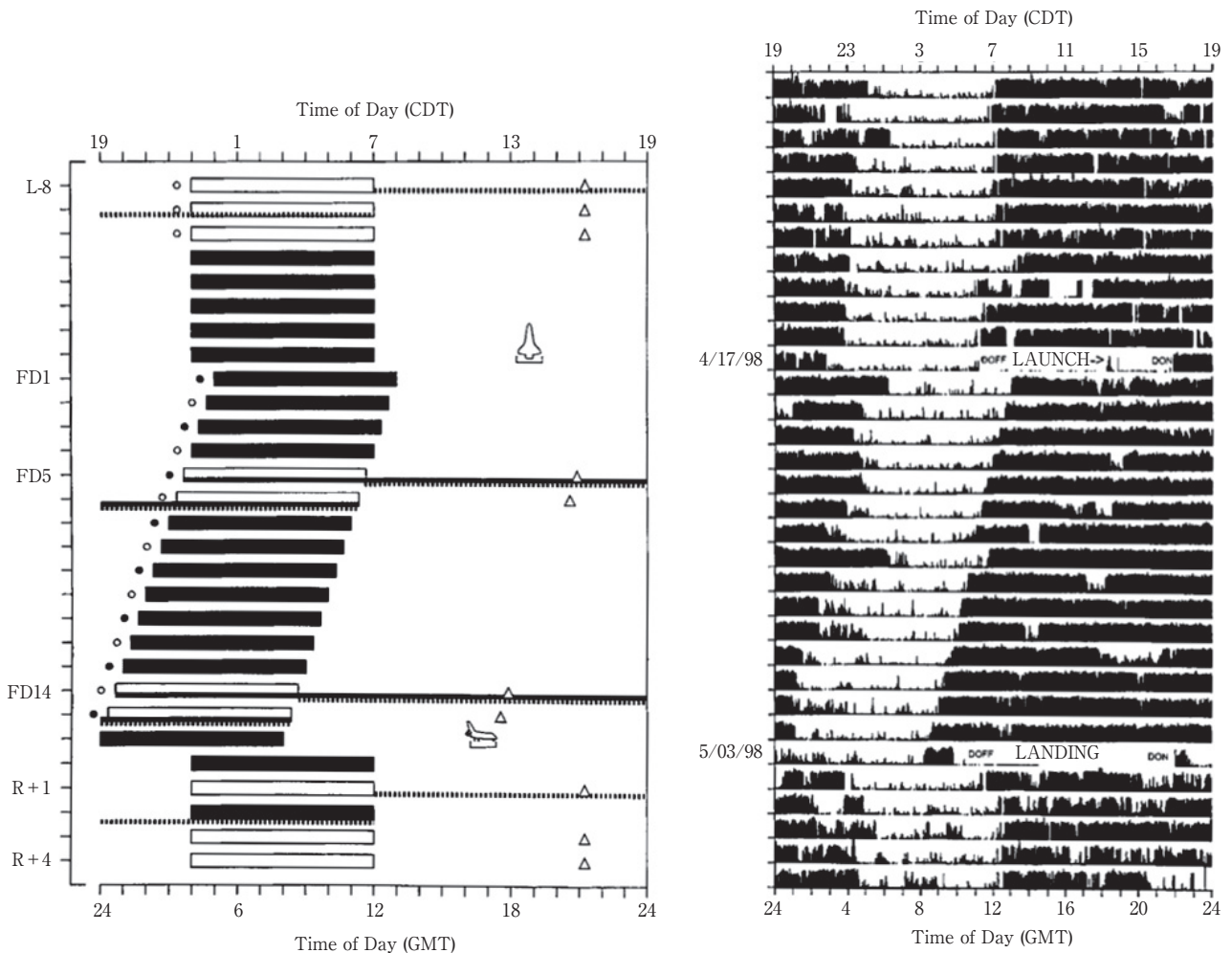


Fig. 1 スペースシャトルでのミッション中の睡眠スケジュール（文献4）から引用。
 左はスケジュール、右は腕時計型アクチグラフで測定した活動リズム

睡眠問題の要因

宇宙飛行士で睡眠問題が生じる要因は複合的である。睡眠と覚醒は睡眠負債度(睡眠不足の蓄積)、睡眠構造、生体リズム同調と作業時の位相(覚醒してからの時間)などに影響され

る。したがって不眠の要因は、睡眠環境、生体リズム位相と睡眠時間帯の調和、ストレス、低重力などが上げられる。宇宙飛行士から採取された限られた生体データの解析結果からも、睡眠に影響をおよぼす以下のような生理変化もしくは環境変化が明らかにされている。1) 低重力による宇宙酔いや体液シフトによる身体環境の変化、2) 精神的緊張・ストレス、他の

クルーの存在, 3) 狭い就床スペース, 4) 特殊な睡眠環境(換気ファンなどの騒音や低湿度10%, 寒さ, 特殊な就床スタイルへの適応), 5) 睡眠負債(多忙な作業により十分な睡眠時間を確保できず, 平均6.5時間程度と短時間睡眠である), 6) 睡眠構造の変化(中途覚醒の増加や深睡眠の減少など), 7) 生体リズムの脱同調リスクを高める生活要因(低照度環境, スペースシャトルミッションでの90分周期での明暗サイクルや23.5時間周期でのシフトスケジュールなど).

シャトル内の睡眠スケジュールと睡眠調節の異常

スペースシャトルのミッションでは打ち上げ時刻に対して着陸時刻が相対的に4~5時間早める必要がある。そのため多くのミッションでは, シャトル内の睡眠スケジュール周期を23.33~.66時間(23時間20分~40分)に設定されている。しかし, ヒト生体リズムを24時間以下の周期に同調させるのは一般的に大きな困難をとまう(適切な光条件などが必要)。また, 十分な睡眠時間を確保するために, ベッドタイムを一日8時間~8時間30分に設定しているが, 作業負荷が大きく, 実際の睡眠時間は6~6.5時間/日にとどまる^{2)~4)}。

また, シャトル内の光環境が体内時計調節の攪乱要因となる。フライトデッキでは太陽光による90分ずつの高照度光パルス(最高で8万lx)を受け一方で, ミッドデッキとスペースラブ(実験ユニット)では常に低照度(93~171lx)で過ごす必要がある。かつ, ライトのオン・オフは毎日20分ずつ前倒しされる。

ISSやミールでの長期滞在時の睡眠・生体リズム

ISS内では電話ボックスくらいの大きさの箱型ベッドで寝袋に入って睡眠をとる。空気を循環させるファンやパソコン用の電源とデータ回線も装備されているため狭いほかに騒音がある。ベッドタイムは形式的にはGMT 21時30分~6時(8時間半)確保されているが, クルーの勤務状況は過酷であるためフルに睡眠時間を確保できることは少ない。

ミールに4カ月間滞在中の42歳のクルーを対象とした調査では, 滞在時間が長期になるにしたがって体温リズム振幅の低下, 24時間周期性の減弱(脱同調), パフォーマンスの低下, 睡眠の低質化が進んでいた⁸⁾。長期滞在時には生体リズム同調は短期ミッション時と比較してより困難になる可能性があるため対策が必要である。

月や火星などに向けた宇宙飛行の取り組み

地球外惑星への長期飛行や惑星上での居住時についても取り組みが始まっている。このような取り組みにはロケットや宇宙ステーションなど技術的な進歩と同時に, 人が宇宙空間

や地球外惑星での長期滞在に生理的に適応しえるのか, 健康かつ生産的に生活しえるのか, という課題も重要である。たとえば, 生体リズムの位相調節が可能な光やメラトニンをもちいてヒトの体内時計周期(平均24.1時間前後)を火星の自転周期(24.6時間)に適合しえるか, その技術開発がおこなわれている⁹⁾。

おわりに

今後, 長期宇宙滞在時代を迎え, 睡眠・覚醒障害の対策がこれまで以上に宇宙医学上の重要な検討課題の一つになるであろう。本シンポジウムでは, これまでの研究で明らかにされた宇宙空間での睡眠問題とその発現機序についてオーバービューし, 今後の課題についてまとめた。

※本論文に関連し, 開示すべきCOI状態にある企業, 組織, 団体はいずれも有りません。

文 献

- 1) JAXA. 2020年までの国際宇宙ステーション/「きぼう」利用シナリオ. 2012; Available from: http://iss.jaxa.jp/kiboexp/news/2020_kibo.html
- 2) Santy PA, Kapanka H, Davis JR, et al. Analysis of sleep on Shuttle missions. *Aviat Space Environ Med* 1988;59 (Pt 1):1094-1097.
- 3) Monk TH, Buysse DJ, Billy BD, et al. Sleep and circadian rhythms in four orbiting astronauts. *J Biol Rhythms* 1998; 13:188-201.
- 4) Dijk DJ, Neri DF, Wyatt JK, et al. Sleep, performance, circadian rhythms, and light-dark cycles during two space shuttle flights. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2001;281:R1647-1664.
- 5) Frost JD Jr, Shumate WH, Salmay JG, et al. Sleep monitoring: the second manned Skylab mission. *Aviat Space Environ Med* 1976;47:372-382.
- 6) Gundel A, Nalishiti V, Reucher E, et al. Sleep and circadian rhythm during a short space mission. *Clin Investig* 1993;71:718-724.
- 7) Gundel A, Polyakov VV, Zuley J. The alteration of human sleep and circadian rhythms during spaceflight. *J Sleep Res* 1997;6:1-8.
- 8) Monk TH, Kennedy KS, Rose LR, et al. Decreased human circadian pacemaker influence after 100 days in space: a case study. *Psychosom Med* 2001;63:881-885.
- 9) Scheer FA, Wright KP Jr, Kronauer RE, et al. Plasticity of the intrinsic period of the human circadian timing system. *PLoS One* 2007;2:e721.

Abstract

Sleep and biological rhythm in space

Kazuo Mishima, M.D., Ph.D.

Department of Psychophysiology, National Institute of Mental Health, National Center for Neurology & Psychiatry
Department of Clinical Neuroimaging, Integrative Brain Imaging Center, National Center for Neurology & Psychiatry

(Clin Neurol 2012;52:1321-1324)

Key words: Space, Sleep, Biological rhythm, Space shuttle, International Space Station (ISS)
