

短時間睡眠が運動パフォーマンスおよび 体温リズムに及ぼす影響

石田健斗*・塩田正俊

Effect of short sleep duration on physical performance measurements and diurnal variation of body temperature

ISHIDA Kento and SHIOTA Masatoshi

(Received September 30, 2016)

Abstract

Purpose: Although sleep deprivation and partial sleep loss has negative effects on mental performance and life-style related diseases, and many anecdotes suggest that adequate sleep is essential for optimum athletic performance, its effects on physical performance equivocal. The present study was conducted to investigate whether the short sleep duration contribute to the physical performance on Sports test measurements and the diurnal variation of axillary temperatures.

Methods: twenty one healthy, active male subjects ($n = 21$) were tested once after a night of normal sleep duration (CS: sleep allowed from 00:00 to 07:00 h), and once after a night of 4 h of sleep (SS: sleep allowed from 03:00 to 07:00 h). The various physical performance parameters measured and axillary temperature measured every 3 hours from the early morning on the day before the test.

Results: The performance of grip strength (muscular strength) and 20 m shuttle run test (endurance) significantly decreased and the counts of sit-ups (muscular endurance) was a tendency to decrease ($p=0.0646$) after the short sleep duration. And the axillary temperature at 07:00 h the next morning in SS elevated compared with that in CS (SS ; $36.15 \pm 0.28^\circ\text{C}$ vs. CS ; $35.94 \pm 0.30^\circ\text{C}$).

Conclusion: These findings suggest that short sleep loss may induce the decrease of muscular strength, muscular endurance and endurance exercise performance, and the rise of axillary temperature in the early morning.

Key Words: Short sleep duration, muscular strength, endurance exercise, axillary temperature

* 卒業生

山口大学教育学部スポーツ健康科学コース (Department of Health and Sports Science, Faculty of Education, Yamaguchi University)

I. 緒言

現代社会は、場所や時間に関係なく24時間活動する社会へと変化しつつあり、長時間勤務や不規則勤務に従事する人々が増えてきた。そのため、働く人々の睡眠時間が減少し、それにより誘発される脳血管疾患などの生活習慣病が社会問題となっている。これは、1970年に7時間57分であった日本国民の平均睡眠時間が2005年には7時間22分と約30分近く短くなり、睡眠という生活習慣の根源が大きく変化するという事実裏付けされる（福島、2004；菅ら、2011）。

睡眠は、高次な脳の活動を持っている動物に見られる休息状態、すなわち脳が脳自身に対して能動的に休息を与えている生体防御機能であり、それゆえ、睡眠不足やそれに伴う精神的ストレスによって種々の障害が生じると考えられる（新井ら、2005）。

これまでの研究で、睡眠はく奪あるいは短時間睡眠が精神的なパフォーマンスの低下を生じ、またインスリン抵抗性の増加や耐糖能の低下を引き起こすと言われている。また、これらの引き金となる肥満については、Taheriら（2004）およびChaputら（2011）は、睡眠時間とBMI（BMI; Body mass index）との間にU字型の関係があること、これは食欲調整ホルモンであるレプチンとグレリン分泌が影響していること（Taheriら、2004）、また睡眠時間と生活習慣病罹患の危険度との関係（Von Ruestenら、2012）、睡眠時間と子供の肥満の出現率との関係（Shiら、2010）など肥満や生活習慣病などとの関係についても研究されている。睡眠、すなわち休養のあり方が問われ始めている。

一方、睡眠はく奪と運動パフォーマンスとの関係については、反応時間の低下（Taheri and Arabameri、2012）、平均スプリント時間の遅延、筋グリコーゲンの低下（Skeinら、2011）、そして疲労困憊までの運動時間の減少（Martin and Chen、1984）、などが報告されているが、運動パフォーマンス、とくにスポーツテストで示される体力要因と睡眠時間との関係についてはまだ十分検討されていないようである（大須ら、2005；VanHelder and Radomski、1989）。

また、この睡眠はく奪や短時間睡眠はヒトの生体リズムに影響を及ぼす。例えば、時差による生体リズムの変化が運動パフォーマンスに影響することは最も良い例であるが、ヒトの体には1周期を約25時間とする概日リズムがある。この概日リズムを形成する体内時計は脳の視床下部にある視交叉上核にあると考えられ（内田、2005）、概日リズムを発振する機能と網膜に入った光によって発振機能のリズムを外界の明暗リズムに同調させるという機能を併せ持つ。そのため時差や夜勤などの昼夜位相のずれは、生体内リズムと外部環境の明暗リズムにずれを生じさせ、精神・身体機能の不調和や不眠症、過眠症などの睡眠障害が発生する（千葉ら、2003）。そのため、睡眠不足は逆に生体リズムを乱し、精神的・身体的パフォーマンスに影響し、さらには生活習慣病などの健康問題を引き起こす可能性がある。

ヒトの体温は夕方にも最も高くなり、明け方に最も低くなるという概日リズムをとり、入眠は体温の概日リズムが下降する位相と一致し、体温が明け方の最下点から上がり始めると覚醒が誘導される（新井ら、2005）。しかし、この正しい睡眠リズムが乱れると、体温の日内変動が小さくなり体調が乱れ、運動パフォーマンスが低下する可能性がある。

そこで本研究では、通常行っている睡眠時間（以下、Control sleep; CS条件と略）と、それよりも短い睡眠時間（以下、Short sleep; SS条件と略）を設定し、各条件の睡眠後に体力テストを実施し、通常の睡眠時間よりも短い睡眠時間が体力要因にどのような影響をもたらすのかについて検討した。また、体力測定前日から体力測定日まで3時間ごとに体温を測定し、体温

リズムへの影響と運動パフォーマンスとの関係についても検討した。

II. 実験方法

1. 被験者

被験者は、健康で定期的に運動を行っている男子学生21名である。被験者の年齢、身長および体重（平均値±標準偏差）は、年齢 20.3 ± 1.0 歳、身長 170.3 ± 3.9 cm、体重 63.0 ± 4.0 kgであった。なお、本実験を行うにあたり、ヘルシンキ宣言（1964年、2008年改訂）にある「人を対象とする医学研究の倫理的原則」に基づき、本研究の目的、方法および運動負荷に伴う危険性などの説明を行い、同意の上で実験に参加させた。

2. 睡眠時間の設定方法

実験当日の体力測定時間（午前10時）に合わせて起床時間は7時と設定した。この時間から、実験前日の睡眠時間の調整をした。今回の被験者の通常の睡眠時間は、平均7～8時間であったため、CS条件は、睡眠時間を午前0時から7時までの7時間と設定した。SS条件は、睡眠時間を午前3時から7時までの4時間と設定した。なお、CS条件およびSS条件での実験は無作為に行い、一週間以上の間隔をあけ、実験順序を入れ替えて実施した。

3. 実験手順

まず、被験者に実験前日から実験当日の朝まで腋窩温 {前日：7時、9時、12時、15時、18時、21時、24時、(SS条件；午前3時測定)、実験当日：7時、9時} を測定させた。腋窩温は安静状態で5分間以上測定させた。測定した腋窩温はあらかじめ被験者に配布した体温調査票に、その時の活動状況とともに記入させた。

実験当日の朝は、必ず朝食をとるように指示した。起床後9時30分に体育館に集合し、体力テスト（10時開始）を実施した。体力テストの項目は以下の通りである。

1) 屋外種目

- ・ 50 m走（走力）：50 m Run

2) 屋内（体育館）種目

- ・ 握力（筋力）：Grip Strength
- ・ 反復横跳び（敏捷性）：Side Step
- ・ 長座体前屈（柔軟性）：Sitting Trunk Flexion
- ・ 立ち幅跳び（跳パワー）：Standing Long Jump
- ・ 上体起こし（筋持久力）：Sitting Trunk Flexion
- ・ 20 mシャトルラン（全身持久力）：20m Shuttle Run Test

測定前の準備運動としては、通常行っているランニング、ストレッチを行った。なお、測定中は脱水防止のため、随時水分を摂取させた。測定は、山口大学陸上競技場、第二体育館で行い、それぞれの測定では、前の測定の疲労などの影響を少なくするために、十分な休憩と、測定項目の順番に配慮した。屋内種目の測定は、握力、反復横とび、長座体前屈、立ち幅跳び、上体起こし、の順番で行い、最後に20 mシャトルランを測定した。また、50 m走については別の日に行った。

4. 体力測定項目および測定方法

各測定方法は、文科省の体力テスト要項にしたがい行った。

5. 統計処理

各項目の値は、平均値±標準偏差 (Mean ± SD) で示した。CS条件とSS条件の腋窩温変動の有意差検定には、反復測定による二元配置 (睡眠条件×時間経過) 分散分析 (repeated measures ANOVA) を行い、交互作用が認められた場合は、各群間についてTurky-Kramer法を用いて多重比較検定を行った。また、時間経過に有意差が認められた場合には、各測定時間における両群の平均値を求め、それらについてTurky-Kramer法を用いて多重比較検定を行った。CS条件とSS条件での各体力要因の測定値の有意差検定には対応のあるt-検定を用いた (JSTAT)。

有意水準はいずれも5%未満とした。

Ⅲ. 結果

1. 各体力要因の結果

図1に、屋内種目についてCS条件およびSS条件での握力、反復横とび、長座体前屈、立ち幅跳び、上体起こしおよび20 mシャトルランの測定結果を示した。

対応のあるt検定の結果、CS条件とSS条件の間に、有意差 ($p < 0.05$) が認められた項目は、最初に行った握力 (CS条件; 49.0 ± 4.5 kg vs. SS条件; 47.7 ± 3.8 kg, $p < 0.05$) と最後に行った20 mシャトルラン (CS条件; 96.2 ± 13.5 回 vs. SS条件; 88.7 ± 14.3 回, $p < 0.01$) であった。また、上体起こし (CS条件; 31.8 ± 3.1 回 vs. SS条件; 31.0 ± 2.9 回) についてはSS条件と比較しCS条件で高い傾向 ($p = 0.0673$) にあった。

しかし、その他の反復横跳び (CS条件; 59.1 ± 4.6 回 vs. SS条件; 59.8 ± 5.1 回)、長座体前屈 (CS条件; 50.0 ± 10.3 cm vs. SS条件; 50.0 ± 10.5 cm)、立ち幅跳び (CS条件; 238.8 ± 16.0 cm vs. SS条件; 237.7 ± 15.8 cm) には有意な差は認められなかった。

図2に、CS条件およびSS条件の50 m走の測定結果を示した。

各条件の50 m走の平均値は、CS条件で 7.14 ± 0.37 秒、SS条件で 7.15 ± 0.39 秒とほぼ同じ値であり、両条件間に差は見られなかった。

2. 睡眠時間と体温の関係

21名の被験者全員に、体力テスト測定前日の起床時 (午前7時) から体力テスト測定日の起床時まで24時間の腋窩温の変動を3時間間隔で測定させた結果を、図3 (a, b) に示した。図3-aは屋内種目を、図3-bは屋外種目をそれぞれ測定した時の腋窩温の平均値の変動である。

屋内種目測定日でのCS条件とSS条件の腋窩温変動には、時間経過が有意 ($p < 0.001$) であり、多重比較検定の結果、午前7時の腋窩温に対して午前9時から24時の腋窩温は有意に上昇し、起床時 (翌朝7時) に最も低い腋窩温を示し、CS条件で $35.92 \pm 0.37^\circ\text{C}$ 、SS条件で $36.11 \pm 0.31^\circ\text{C}$ とSS条件で高い傾向があったが、交互作用 ($p = 0.2473$) は認めなかった。一方、屋外測定日の腋窩温変動には、交互作用 ($p < 0.05$) および時間経過が有意 ($p < 0.001$) であった。そこで各要因間について多重比較検定を行った結果、体力テスト測定日の午前7時のCS条件 ($35.94 \pm 0.30^\circ\text{C}$) とSS条件 ($36.15 \pm 0.28^\circ\text{C}$) の腋窩温に有意差が認められた ($p < 0.05$)。また、体力テスト前日のCSおよびSS条件の午前7時の腋窩温に対しそれぞれCSおよびSS条件の12時から24時までの腋窩温が有意に上昇し、SS条件では体力測定日の午前9時の腋窩温にも有意な上昇が認められた。

IV. 考察

本研究は、短時間睡眠が運動パフォーマンス（体力テスト）や体温リズムにどのような影響を及ぼすかについて明らかにするため、通常の睡眠時間（7時間）とそれよりも短い睡眠時間（4時間）後に体力テストを行い、同時に実験前日から3時間毎に体温リズム測定を行い、それぞれの睡眠時間での値を比較検討した。

本研究の結果から、短時間睡眠では、体力要因のうち筋力（握力）および全身持久力（20 m シャトルラン）が低下すること、筋持久力（上体起こし）も低下する可能性があること、また、起床時の腋窩温が高値を示し、体温リズムが影響される可能性が示唆された。

1. 短時間睡眠と運動パフォーマンスについて

睡眠時間と運動パフォーマンスとの関係についての研究では、睡眠はく奪時間が長時間にわたるものが多く、部分的な睡眠はく奪となる短時間睡眠に関するものは少ない。ここでは長時間睡眠はく奪と運動パフォーマンス等の関係を検討した報告を参考に考察する。

Takeuchiら（1985）は、65時間の睡眠はく奪後に、種々の体力テストを実施し、40-m dash、等尺性筋力およびバランス能には影響がなかったが、垂直跳びおよび等速性筋力が減少したことを報告している。これらの低下の要因として、被験者の「動機づけ」と「覚醒状態」の減少に起因していると考えている。本研究の結果では、短時間睡眠により低下した体力テストの測定項目（握力、上体起こし、20 m シャトルラン）は、Takeuchiら（1985）の結果とは必ずしも一致しなかった。

Martin and Chen（1984）は、50時間の睡眠はく奪後に、一定の心拍数（160拍/分）強度の運動を12分間行わせ、睡眠はく奪後は生理・生化学的指標としての心拍数およびカテコールアミン、分時換気量、酸素摂取量、血中乳酸濃度、深部温および皮膚温に影響しなかったが、疲労困憊に至るまでの運動時間は20%短縮したことを報告している。この報告と本研究の結果からは、持続的な体力要因は睡眠不足によって低下すると考えられる。一方で、Vardartら（2007）は、1日の睡眠はく奪と部分的な短時間睡眠（4時間）後の無酸素性運動パフォーマンスと心理的な「不安」について検討し、1日の睡眠はく奪において「不安」得点が増加したが、いずれも無酸素性運動パフォーマンスには影響しなかったことを報告している。したがって、睡眠不足は短時間の運動より長時間の持続的な運動パフォーマンスを低下させると考えられる。

この低下の要因として心理的な影響が考えられ、Martin and Gaddis（1981）は、睡眠時間が制限なしの場合と1日の睡眠はく奪した場合で、運動強度を変えて運動（ $\dot{V}O_2\text{max}$ の約25%、50%および75%強度）をそれぞれ8分間行った結果、生理的な指標には変化はなかったが、50%および75%強度の運動で主観的運動強度（RPE: ratings of perceived exertion）が増加したと報告している。また、Myles（1985）は、54~60時間の睡眠はく奪後に短時間運動（30秒間）と長時間運動（15~50分間）を実施した結果、短時間運動ではRPEに影響しなかったが、長時間運動でRPEが増加したことを報告している。

これらの報告からは、睡眠はく奪によって生理・生化学的な指標は影響を受けにくく、そのため運動パフォーマンスに及ぼす影響も少ないことが示唆されるが、心理的な指標となるRPE、「不安」「動機づけ」などは影響を受けやすく、運動時の努力感（RPE）や忍耐力を強い疲労困憊に至る運動（持久性）などは影響されやすいことが示唆される。このため、スピードの増加とともに限界まで行う20 m シャトルランや30秒間の時間の限定はあるが最大努力を

強い上体起こしなどは低下あるいは低下傾向を示したものと考えられる。

本研究において、短時間睡眠で筋力や筋持久力に低下あるいは低下傾向が求められた原因は、握力（筋力）測定は最初に行われたため、Takeuchiらが指摘するように、被験者の「動機づけ」や「覚醒状態」が低下していた可能性が考えられる。その後の体力測定では、覚醒状態が改善し、心理的な変化が生じていたとしても、反復横跳び（敏捷性）、長座体前屈（柔軟性）、立ち幅跳び（跳パワー）などの種目では運動自体、忍耐力を強いられるような疲労困憊（限界）まで追い込む種目ではなかったことなどが、平常の運動機能を発揮させ、パフォーマンスの低下に至らなかったものと考えられる。

次に、腋窩温の日内リズムとの関係から、主に持久力および筋持久力の関係について考察する。

2. 体温リズムと運動パフォーマンスについて

本研究において、短時間睡眠後の早朝（7時）に腋窩温が通常睡眠時の腋窩温より高くなる可能性が示唆された。

本研究で認められたこの現象は、一つは、朝方タイプ人（morningness）と夜型タイプ（eveningness）の体温リズムの違いで解釈できる。本研究の正常睡眠を朝方タイプとして、短時間睡眠を夜更し型の夜型タイプと考えると、朝方タイプでは体温リズムの最高値が夜型タイプに比べ速く出現し（Lackaら、2008；Waterhouseら2001）、さらにWaterhouseらは朝方タイプでは夜間睡眠時の体温が低くなること、逆に夜型タイプでは高くなることを報告している。この報告からは、短時間睡眠後では睡眠時の体温低下は少なく、そのため翌朝の体温も高い状態で推移し、本研究で認められたように短時間睡眠では翌朝（7時）の腋窩温が高くなったと推測できる。また、Launayら（2002）は、62時間の睡眠はく奪では頂点位相（acrophase）に変化はなかったが、中央値（mesor）は上昇し、振幅（amplitude）は減少し、とくに最低値は36.1°Cから36.5°Cに上昇したことを報告している。この結果からも睡眠はく奪により早朝の体温が高くなる可能性が示唆される。一般に、運動時の体温上昇は持久力を低下させるが、短時間睡眠後にみられた早朝の体温上昇は、持久運動時の疲労困憊に至る時間を短くする（ACSM、2007）可能性がある。しかし、その制限因子となる深部温は約40°Cであり、本研究で行った「上体起こし」および「20 mシャトルラン」の運動時間は30秒間と10分間程度であり、運動を制限する体温の上限まで上昇することはなかったと考えられる。一方、Oliverら（2009）は、30時間の睡眠はく奪後に60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度で30分間のトレッドミル走を行い、その後30分間の自己ペース走を行った結果、睡眠はく奪により運動時の努力感に差はなかったが、走行距離が低下したことを報告している。また、Martin and Gaddis（1981）は、36時間の睡眠はく奪後に、80% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度の運動を長時間行い、運動時の努力感が上昇し、疲労困憊に至る運動時間が減少したことを報告している。運動時の努力感に相違はみられるが、全身持久力および筋持久力のパフォーマンスは体温上昇というよりは睡眠はく奪による努力感のような心理的水準が低下し、持久力の低下が生じたと考えられる。

本研究においては、RPEなどの主観的な運動強度は測定していないが、短時間睡眠後の持久運動時では運動時の努力感、意欲や集中力が低下した状態と考えられ、体温上昇の影響というよりは、これらの心理的な影響で持久力の低下につながったと考えられる。

V. 要約

本研究は、短時間睡眠が運動パフォーマンス（体力テスト）および体温リズムにどのような

影響をもたらすかについて明らかにするため、通常の睡眠時間（7時間）とそれよりも短い睡眠時間（4時間）後に体力テストを行い、同時に実験前日から3時間間隔で体温リズム測定を行い、それぞれの睡眠時間での値を比較検討した。

結果は以下の通りであった。

(1) 睡眠時間の短縮により握力 ($p<0.05$)、20 mシャトルラン ($p<0.01$) の測定結果が有意に低下し、また、上体起こし ($p=0.0673$) の成績も低下傾向を示した。

(2) 体力テスト測定日前日に測定した腋窩温の変化には、屋外測定種目では交互作用 ($p<0.05$) があり、多重比較検定の結果、翌朝午前7時のCSおよびSS条件間の腋窩温 (CS条件; $35.94 \pm 0.30^\circ\text{C}$ vs. SS条件; $36.15 \pm 0.28^\circ\text{C}$) には有意差が認められた。また、屋内測定日では翌朝午前7時のCSおよびSS条件間の腋窩温はCS条件で $35.92 \pm 0.37^\circ\text{C}$ 、SS条件で $36.11 \pm 0.31^\circ\text{C}$ と屋外測定日と同様な反応であったが、交互作用は認めなかった。

以上の結果から、睡眠不足の状態は、筋力（握力）、筋持久力（上体起こし）および全身持久力（20 m シャトルラン）を低下させる可能性が示唆された。また、睡眠不足は、早朝の腋窩温を上昇させる可能性があるが、この起床時の腋窩温が上昇が筋持久力および全身持久力に影響するかどうかについては明らかではなかった。

VI. 参考文献

- 新井 潤一郎、石渡 貴之、吉川 肖子、岡本 誉士夫：温熱環境制御による快眠誘導、睡眠中の環境温度の動的制御による「深部体温」、「睡眠深度」コントロール。日本生理人類学会誌10：24-25、2005
- Chaput J-P, Lambert M, Gray-Donald K, McGrath JJ, Tremblay MS, O'Loughlin J, Tremblay A: Short Sleep Duration Is Independently Associated With Overweight and Obesity in Quebec Children. *Can J Public Health* 102(5):369-74, 2011
- 千葉 茂、本間 研一：サーカディアンリズム睡眠障害の臨床。新興医学出版社、東京、pp20-21、2003
- 福島 斉：過労死と身体環境。環境創造 7：19-30、2004
- Lacka LC, Gradisara M, Van Somerenb EJW, Wrighta HR, and Lushingtond K: The relationship between insomnia and body temperatures. *Sleep Medicine Reviews* 12, 307–317, 2008
- Launay JC, Savourey G, Guinet A, Lallement G, Besnard Y, Bittel J.: Circadian rhythm of rectal temperature during sleep deprivation with modafinil. *Aviat Space Environ Med.* 73(10): 985-90, 2002
- Martin BJ and Chen HI: Sleep loss and the sympathoadrenal response to exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 16(1): 56-9, 1984
- Martin BJ and Gaddis GM: Exercise after sleep deprivation. *Med Sci Sports Exerc.* 13(4): 220-223, 1981
- Myles WS.: Sleep deprivation, physical fatigue, and the perception of exercise intensity. *Med Sci Sports Exerc.* 17(5): 580-584, 1985
- Oliver SJ, Costa RJS, Laing SJ, Bilzon JLJ, Walsh NP : One night of sleep deprivation decreases treadmill endurance performance. *Eur J Appl Physiol* 107: 155-161, 2009
- 大須 泰治、吉田 弘法、岡村 輝一、小西 裕之、小林 敏孝：睡眠のスポーツ・コンディショニングに及ぼす影響。足利工業大学研究紀要 39：113-117、2005

- Shi Z, Taylor AW, Gill TK, Tuckerman J, Adams R and Martin J: Short sleep duration and obesity among Australian children. *BMC Public Health* 10: 609, 2010
- Skein M, Duffield R, Edge J, Short MJ, and Muñiz T: Intermittent-Sprint Performance and Muscle Glycogen after 30 h of Sleep Deprivation. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43(7): 1301-1311, 2011
- 菅 重博、武田 彰久、佐々木 圭吾、端詰 勝敬、坪井 康次：生活習慣と睡眠. *心身医学* 51(9) : 783-789、2011
- Taheri M, and Arabameri E: The effect of sleep deprivation on choice reaction time and anaerobic power of college student athletes. *Asian Journal of Sports Medicine* 3 (1): 15-20, 2012
- Taheri T, Lin L, Austin D, Young T, Mignot E: Short Sleep Duration Is Associated with Reduced Leptin, Elevated Ghrelin, and Increased Body Mass Index. *PLoS Medicine* 1(3): 210- 217, 2004
- Takeuchi L, Davis GM, Plyley MJ, Goode RC, and Shephard RJ: Sleep deprivation, chronic exercise and muscular performance. *Ergonomics* 28: 591-601, 1985
- 内田 直：スポーツと生体リズム. *臨床スポーツ医学* 22(5) : 623-627、2005
- VanHelder T and Radomski MW: Sleep deprivation and the effect on exercise performance. *Sports Med* 7: 235-247, 1989
- Vardart SA, Öztürk L, Kurt C, Bulut E, Sut N and Vardar E: Sleep deprivation induced anxiety and anaerobic performance. *Journal of Sports Science and Medicine* 6: 532-537, 2007
- Von Ruesten A, Weikert I C, Fietze I, and Boeing H: Association of Sleep Duration with Chronic Diseases in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC)-Potsdam Study. *PLoS ONE* 7(1): 1-9, 2012
- Waterhouse J, Folkard S, Van Dongen H, Minors D, Owens D, Kerkhof G, Weinert D, Nevill A, Macdonald I, Sytnik N, Tucker P: Temperature profiles, and the effect of sleep on them, in relation to morningness-eveningness in healthy female subjects. *Chronobiol Int.* 18(2): 227-47, 2001

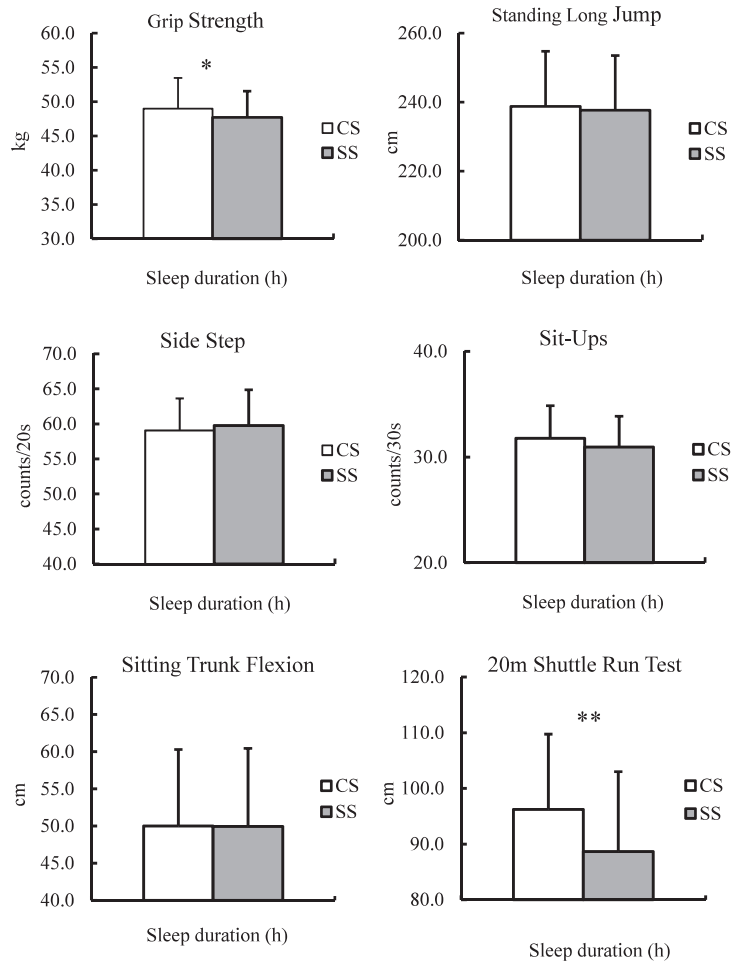


Figure 1. Comparison of Grip Strength, Side Step, Sitting Trunk Flexion, Standing Long Jump, Sit-ups and 20m Shuttle Run Test in SS and CS conditions paired-*t*-test: *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

CS: Control sleep duration (7 hours) , short sleep duration (4 hours)

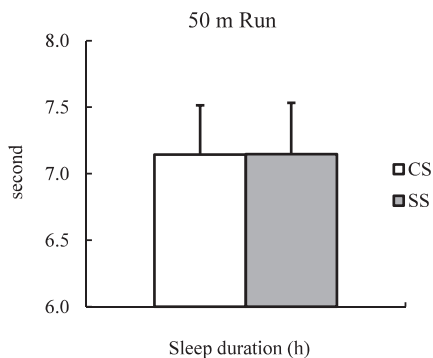


Figure 2. Comparison of 50 m Run in SS and CS conditions
CS: Control sleep duration (7 hours) , short sleep duration (4 hours)

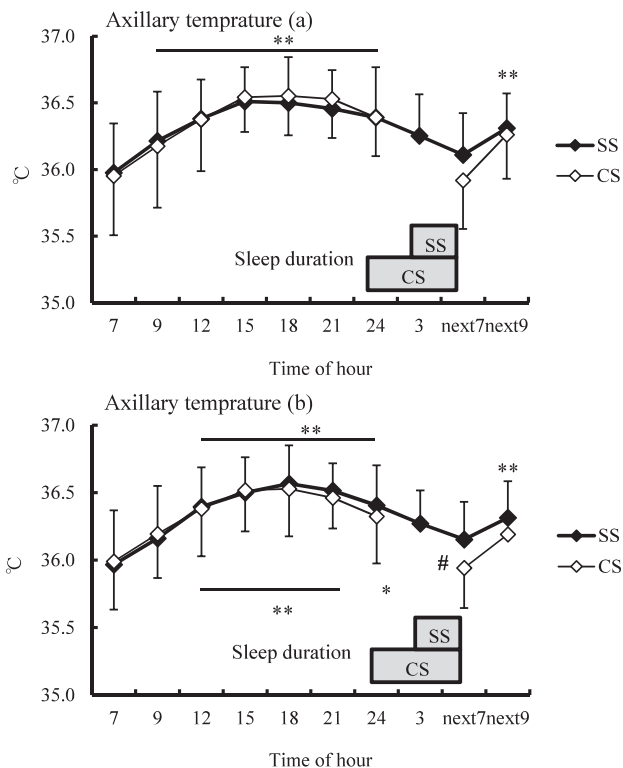


Figure 3. Circadian variation of axillary temperature in SS and CS on the day before the test of indoor (a) and outdoor (b)

a: repeated measures ANOVA; b: p for interaction = 0.0246,

#: $p < 0.05$, SS vs. CS at 7 o'clock the next morning, **: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$, vs. 7 h in CS or SS

CS: Control sleep duration (7 hours) , short sleep duration (4 hours)