

2022年度 3月修了 修士論文

ウェアラブル高照度光装置が スポーツパフォーマンスに与える効果

Effect of head-mounted bright light therapy device
on sports performance

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 スポーツ医科学研究領域

5021A025-1

須山 崇太郎

研究指導教員： 西多 昌規 准教授

目次

I	序論	1
I-1	概日リズム	1
I-2	概日リズムと運動パフォーマンス	3
I-3	高照度光と概日リズムの調節	5
I-4	高照度光療法の新しいかたち	6
I-5	高照度光とスポーツ	8
I-6	本実験の目的	9
I-7	本研究における仮説	10
II	方法	11
II-1	対象	11
II-2	実験プロトコル	11
II-3	高照度光装置	15
II-4	運動試験	16
II-5	質問紙	17
II-6	活動量計	18
II-7	被験者の身体情報の取得	18
II-8	統計分析	19
II-9	COVID-19 感染対策	20
III	結果	21
III-1	被験者情報	21
III-2	運動試験環境	23
III-3	口腔内温度	24
III-4	運動試験	25
III-4.1	握力	25
III-4.2	ウイングートテスト	26
III-5	質問紙	32
III-5.1	VAS	32
III-5.2	KSS	34
III-6	活動量計	35
IV	考察	36
IV-1	高照度光照射と口腔内温度・運動パフォーマンス	36
IV-2	高照度光照射と質問紙・主観的評価	40
IV-3	新たな WBL の開発	41

V	結論.....	42
VI	参考文献.....	43
VII	謝辭.....	52

I 序論

I-1 概日リズム

地球の自転によって一日の時間が 24 時間に定められていることは、地上のありとあらゆる生命にとって不変の事実である。われわれ人間を例にとってみれば、朝日が昇って目を覚まし、活動的な昼を過ごし、夜になれば眠くなり就寝するという一日の生活サイクルは基本的に皆同じである。もちろん多少のずれはあれ、健康的な人であれば 24 時間のなかで周期的な睡眠と覚醒のリズムを毎日繰り返している。

このような約 1 日周期の生体のリズムのことを、概日リズム (Circadian Rhythm) と呼ぶ。概日リズムは体温をはじめ、内分泌ホルモンや免疫系など生体内の様々なバイタルサインに認められる。

生物がもつ概日リズムという概念についてはその歴史は非常に長く、古代ギリシャの時代では既に存在が知られていたとされる [1]。学術的には、18 世紀にフランスの De Mairan (1729) のオジギソウを用いた研究が歴史上初めての概日リズムに関する論文とされている [2]。それ以降、ヒトや昆虫、ラットをはじめとした様々な生物の概日リズムに関する研究が盛んに行われてきた。

これまでの研究により、ヒトの概日リズムの周期は 24 時間から 25 時間の間にあることが明らかとなっている [3]。そのため概日リズムを理解するためには、「外界の時間」と「生体内部の時間」を区別して捉えることが必要である。とくに後者を体内時計 (Inner-clock, Biological-clock) と呼ぶ。

ヒトに内在する体内時計は 24 時間よりも長いことから、我々ヒトは

外界の 24 時間周期の時間に同調させることが必要である。概日リズムをコントロールし、修正するための外的調整因子(同調因子, Zeitgeber)こそが光(日光)である。眼球を通して外界から得られた光情報は、網膜細胞から視床下部に存在する視交叉上核(Suprachiasmatic Nucleus: SCN)に伝達される。ここへ伝達された光情報をもとに、生体内部のリズムはコントロールされている。そのため SCN を失ってしまうと、概日リズムをコントロールできなくなることがこれまでの研究によって明らかとなっている[4,5]。

このようにヒトをはじめとした生物は、外界の光に暴露されることで体内時計のずれを調整し、概日リズムをコントロールしている。言わば光は、概日リズムを矯正するための重要な要素なのである。

また一方で、生体内の様々な指標にも 24 時間周期の概日リズムが存在する。最も代表的なものはメラトニンの分泌による睡眠覚醒リズムである。メラトニンは脳の松果体から分泌される内因性のホルモンであり、概日リズムを把握するための最も代表的な生理指標である。健康な人においてメラトニンは通常、習慣的な就寝時間の数時間前から分泌され始めることが明らかとなっている[6]。そして深夜のタイミングで分泌量のピークを迎え、朝に向かって減少していく。このように 24 時間周期で分泌量がコントロールされており、我々の睡眠覚醒リズムを調整している。夜間、メラトニンの分泌が開始される時刻をメラトニン分泌開始時刻(Dim Light Melatonin Onset: DLMO)と呼び、多くの研究で概日リズムを評価する指標となっている。一般的に加齢によって概日リズム位相が前進することは広く知られているが、Jeanne et al. (2002) は DLMO を比較することで、高齢者の概日リズムが若者より早いことを明らかにしている。

さらに体温についても典型的な概日リズムが観察できる。一日のなかでヒトの体温（ここでは深部体温）は周期的に変化するが、朝 5:00 頃に最低体温に達し、夕方の 17:00～21:00 の時間帯に体温が最高値を示すことが分かっている [8,9]。これらの深部体温の周期的な変化は、SCN によってコントロールされるメラトニンの分泌量と同調している。DLMO を境にしてメラトニンの分泌量が増加すると、皮膚の血管が拡張されて熱が失われ深部体温が低下していく [9]。深部体温が徐々に低下していくことで眠気を強く感じるようになると、ようやくヒトは眠りに就くのである。Cajochen et al. (2003) はメラトニンの分泌量が深部体温の変化、眠気の強さに影響を与えていることを明らかにしている。

I-2 概日リズムと運動パフォーマンス

人々の生活においても、概日リズムの影響を受ける場面が存在する。とくに身体のコンドিশョンが結果を大きく左右するスポーツでは、時間帯によってそのパフォーマンスが変化することがこれまでの研究で明らかとなっている。

Kline et al. (2007) は競泳選手を対象とした概日リズムと運動パフォーマンスに関する研究で、時間帯によって上下に変化する体温と連動するように、競泳の運動パフォーマンスが変動することを明らかにしている。Klineらは体温が最低になる時刻を基準にパフォーマンスを比較し、最低体温を示す時刻の 5-7 時間前にパフォーマンスのピークが、1 時間前から 1 時間後の間にパフォーマンスが最も低下することを示した。このように、概日リズムに影響されて行動や気分、バイタルサイン、運動パフォーマンスが約 24 時間周期で変動することを日内変動 (Diurnal

variation) と呼ぶ。

Kline らはスポーツパフォーマンスが概日リズムと連動して変化する関係にあることを明らかにしたうえで、個人の概日リズムを考慮することでより充実したトレーニングを実施することができるということを強く主張している。体温と運動パフォーマンスの関係については、Ayala et al. (2021) も Kline らと同様の結論を示唆しており、体温のピークと運動パフォーマンスのピークは一致することを明らかにしている。

また、Fernandes et al. (2014) は自転車運動による 1000m のタイムトライアルを 8:00 と 16:00 に行ったところ、16:00 において完走時間が有意に短かったことを示した。

短時間の運動に関しては、垂直ジャンプ[14]や高強度の 30 秒間のエルゴメーター運動[15]など様々な運動において日内変動が確認されている。なお、骨格筋の最大随意筋収縮 (Maximal Voluntary Contraction : MVC) に着目した研究においても、朝よりも夕方において筋力発揮が大きくなることが示されている[16]。

さらに、握力や高強度の自転車エルゴメーター運動等の無酸素系運動においても、夕方の方が朝よりもパフォーマンスが高いことが明らかとなっている[17]。

以上のように、様々な運動において日内変動が確認されており、体温と連動するかたちで、我々の運動パフォーマンスは一日のなかで変動することがこれまでの研究によって明らかとなっている。

I-3 高照度光と概日リズムの調節

先では、光が概日リズムを調整（矯正）する重要な役割を担っていることを述べた。概日リズムを調整することを目的として利用される人工的な疑似光を高照度光（Bright Light：BL）という。

BLとは一般に照度が5,000～10,000lxの強い光のことを指し、このような光を用いて概日リズムのずれを矯正する治療法を「高照度光療法」という。この療法が用いられる障害としては、概日リズム障害、睡眠障害、時差症候群（時差ボケ）、季節性感情障害（季節性うつ・SAD）などが挙げられる。

BLの暴露により概日リズムの位相を調整する実験は、これまで多く行われている。Corbett et al.（2012）は、2週間毎朝BLに暴露されることで、メラトニンが分泌されるタイミングと就寝起床時間が前進することを明らかにした。CorbettらはBLによって概日リズム位相を前進させることが可能であることを示唆した。

またBrainard et al.（2001）は420nmから600nmの単色光を照射する実験を行い、446nmから477nmの波長域の光がメラトニン分泌を最も抑制することを明らかにしている。さらに、Cajochen et al.（2006）は、青色光（460nm）を夕方の2時間照射すると、緑色光（550nm）を照射したときに比べメラトニンの分泌が有意に抑制されたことを明らかにした。

一方で、Geerdink et al.（2016）は「社会的時差ボケ」の人を対象として、高照度光照射の概日リズム調整への効果を明らかにした。社会的時差ボケとは、休日の就寝起床リズムが平日と比較して極端に遅い状態のことを指し、心身の様々な障害の原因となる可能性が指摘されている。Geerdinkらは、朝30分間の高照度光照射を9日間継続することで、メ

ラトニンの分泌位相と起床時間が早まり，社会的時差ボケの改善に効果があることを示唆した。

Figueiro et al. (2014) は高照度光照射による概日リズム位相の前進・遅延効果をクロノタイプ別に比較した。Figueiro らは，①概日リズム位相を前進させる試行（朝に高照度光照射，夜に光への暴露を抑制するためにサングラス着用）と，②位相を後退させる試行（朝に光への暴露を抑制するためにサングラス着用，夜に高照度光照射）を夜型と朝型のグループにそれぞれ実施した。その結果，クロノタイプの違いによる介入効果の違いは認められなかったものの，DLMO が①概日リズム位相を前進させる試行では有意に前進し，②位相を後退させる試行では有意に後退することを明らかにした。

また主観的な眠気についても，高照度光照射によって低下することが明らかとなっており [23]，様々な研究において概日リズム位相に対する高照度光照射の効果が確認されている。ただし，BL には概日リズム位相を前進・後退させる両方の効果があるため，治療の目的に合わせて適切なタイミングで治療を行う必要がある。

I-4 高照度光療法の新しいかたち

BL を照射する装置には，主に卓上型やウェアラブル型のものがある。従来，臨床や研究で多く使われてきたものは卓上型であり，最も普及している治療器である。一方，近年になって開発が進んできたものがウェアラブル型の治療器である。Yuasa et al. (2018) は，従来の卓上型の治療器とウェアラブル型の治療器の効果について比較し，ウェアラブル型の治療器であっても卓上型のものと同様の効果が得られることを明らか

にしている。また、Lovato et al. (2016) は新しく開発されたウェアラブル型の高照度光治療器を用いて、概日リズムを調整する治療効果を検証した。Lovatoらは2晩連続でウェアラブル型の高照度光治療器を使用することで、DLMOが有意に後退することを明らかにした。また治療後は、主観的な眠気も低下する傾向があったことを述べており、ウェアラブル型の高照度光治療器の治療効果を認めた。

ウェアラブル型（もしくは可搬型）の特徴としては、眼鏡のように掛ける構造のため軽量で運搬が容易であることが挙げられる。また、卓上型のように行動が制限されることがないため使用によるストレスを軽減することができる。従来の卓上型の治療器は、利用者（患者）は治療器の前に一定時間座っている必要があった。さらに、治療器の光源からの距離や光源に対する顔面の角度を長時間一定に保つ必要があり、非常に負担が大きかった。一方でウェアラブル型は、治療器の光源の距離と角度が自ずと一定に保たれるため、行動が制限されず利用者（患者）への負担が非常に少ないことが特徴となっている（Fig. 1-1）。

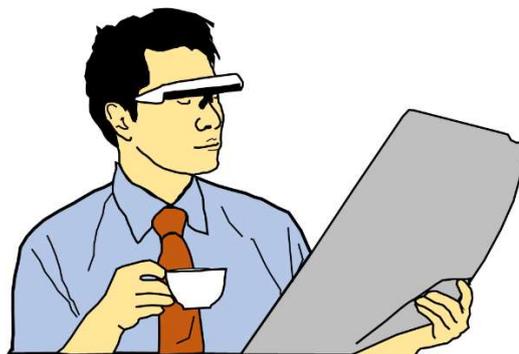


Fig. 1-1 ウェアラブル型の高照度光装置を使用する様子

I-5 高照度光とスポーツ

既存の卓上型の高照度光装置を使った研究はこれまで多く行われてきた。しかし、そのほとんどは睡眠覚醒リズムや認知機能の改善に焦点が当てられたものである。

Nelson et al. (2003) は精神運動性警戒課題 (Psychomotor Vigilance Task: PVT) を用いた実験を行い、BL の暴露によって注意力が向上することを明らかにした。また Corbett et al. (2012) は、2つの認知機能テスト (Digit Symbol Substitution Test・Single Letter Cancellation Test) を用いた実験を行い、起床後1時間の高照度光照射が日中の認知機能を向上させることを明らかにしている。さらに Corbett らは、介入期間中にパフォーマンスが維持されたことはもちろん、介入後もある程度の維持が見られたことを明らかにしている。

さらに、Rosa et al. (2018) はオリンピックの水泳代表チームを対象とした介入実験を行い、夕方の BL の照射によって睡眠リズムが後退し、夜間の認知機能の向上することを明らかにした。これらのような研究から、BL への暴露は認知機能を向上させる可能性があることが考えられる。

BL がスポーツに活用できることを示唆する先行研究がある一方で、これらの研究の多くは認知機能の改善に焦点が当てられており、運動パフォーマンスの評価は行われていないことがほとんどである。

一方、運動パフォーマンスに焦点があてられた研究としては、Kantermann et al. (2012) が行った、160分間の高照度光照射中に40分間の自転車エルゴメーター運動を被験者に課す実験が挙げられる。Kantermann らは、高照度光照射中の40分間の自転車エルゴメーター運

動の総作業量が有意に増加することを明らかにした。このほか、握力運動においても、オールアウトするまでの握力回数が高照度光照射によって増加したことが報告されている[29]。しかしこれらの研究は、長時間の暴露や夜間の暴露を課したものであり、朝の短時間照射や、時間帯別の運動パフォーマンスの評価には目が向けられていない。

I-6 本実験の目的

高照度光療法はこれまで季節性感情障害や時差、睡眠障害の治療に多く用いられてきたが、これらの治療に用いる装置は大型なため携行性に乏しく、かつ使用者の行動を長時間制限するものであった。そのようななか、近年ウェアラブル型の装置が開発され高照度光療法の敷居が下がりつつある。しかし、このウェアラブル型の装置に関する知見は未だ少ないことが現状である。

また、これまでの BL の効果に関する研究は認知機能に焦点があてられたものや長時間の拘束が伴うもの、夜間のパフォーマンスを評価するものが多く、実際のスポーツ現場に実践的に応用できる知見は得られていない。

そこで本研究ではメガネ型のウェアラブル高照度光療法装置の使用が午前中の運動パフォーマンスの改善に寄与することを目的として研究を行う。

実際のスポーツ現場では、選手個々の概日リズムを考慮した試合スケジュールが組まれることはなく、選手たちは大会主催者側から提示された試合時間に合わせてコンディショニングを行う必要がある。携行性が高いウェアラブルな装置を用いて場所を問わずに高照度光療法を行うこ

とができれば，多くのアスリートがコンディショニングの手段として高照度光療法を容易に実施することができる．

本研究においてウェアラブルな高照度光装置の運動パフォーマンスに対する効果を検証することで，日中の早い時間帯に試合を控えるアスリートに対して新たなコンディショニングの手段を提案できる可能性があるため，非常に意義があると考えられる．

I-7 本研究における仮説

メガネ型のウェアラブル高照度光療法装置を7日間着用することにより体内リズム位相が前進し，午前中の運動パフォーマンスが着用前と比較して向上する可能性が考えられる．また一方で先行研究における結果と同様に，口腔内温度と運動パフォーマンスには日内変動が存在し，午前中と午後の測定結果に有意な差が認められることが期待される．

II 方法

II-1 対象

本研究では健康な男子大学生（22 歳±0.92）を対象に実験を行った。実験には 14 名がクロスオーバー法で、6 名が介入実験のみに参加した。実験参加前に各被験者に対して本研究の説明を十分に行い、書面での同意を得たうえで参加してもらった。

実験に先立ち、朝型-夜型質問紙（Morningness-Eveningness Questionnaire：MEQ）によって参加者のクロノタイプを分類した。ただし MEQ のスコアが 51 点以上を朝型、41 点以下を夜型と設定した[30]。また睡眠障害、精神障害、眼科疾患を持っている者と、睡眠習慣が極端に長時間・短時間である者は実験から除外した。

また同時に、ピッツバーグ睡眠質問紙（Pittsburgh Sleep Quality Index：PSQI）[31]への回答も得た。PSQI のスコアが 11 点以上の参加希望者については、睡眠習慣が著しく乱れているとして被験者から除外した。

II-2 実験プロトコル

本研究ではクロスオーバー法を用いて実験を行った。ただし一部の被験者（6 名）は介入試行のみ参加した。介入試行（Treatment-Trial：T 試行）・対照試行（Control-Trial：C 試行）ともに、実験期間を DAY 0 から DAY 7 の 8 日間とした。どちらの試行を先に行うかについては無作為に決定し、T 試行と C 試行の間はウォッシュアウト期間を 1 週間以上設けた。

T 試行においては，ウェアラブル型の高照度光装置（wearable Bright-Light：WBL）を DAY1 から DAY7 の朝，起床後の 30 分間使用してもらった（Fig. 2-1）．一方 C 試行では，高照度光装置の装着をせず介入試行と同様のプロトコルで実験を行った（Fig. 2-2）．試験期間中の夜間睡眠については被験者の自宅でとり，規則正しい生活を送ってもらった．試行期間中は介入試行・対照試行ともに，入浴時以外に活動量計を着用した．

T 試行・C 試行ともに，DAY0 および DAY7 に口腔内温度の計測と質問紙への回答，さらに 2 種類の運動試験を実施してもらった．運動試験では握力（Handgrip Strength：HS）と自転車エルゴメーターを用いたウィングテスト（Wingate-Test：WT）を実施した．なお他の試験への影響を最小限にするために，すべての被験者が①口腔内温度の計測，②質問紙への回答，③HS，④WT の順に実施した（Fig. 2-3）．

試験は同日の午前（8 時 30 分～9 時 30 分）と午後（15 時 30 分～16 時 30 分）の 2 回のタイミングで実施した．これらの試験を行った場所は，すべて早稲田大学所沢キャンパス 105 号館トレーニングルームであった．

実験前日から運動試験当日の運動試験が終了するまでの間，被験者はアルコールとカフェインの摂取，激しい運動を控えるよう指示された．また，運動試験当日（DAY0 および DAY7）の起床時間は同じになるようにした．

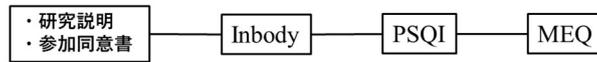


Fig. 2-1 介入試行の日程



Fig. 2-2 対照試行の日程

事前準備



Day0 および Day7

各日9:00 および 16:00



Day0 から Day7

毎日12:30



Fig. 2-3 各実験の試行順序

II-3 高照度光装置

本研究では、WBLとして LuceGlass（電制社製）を使用した。WBLは高照度の光を照射することで、季節性うつ病や概日リズム障害の治療を行うウェアラブル型の体内時計調節器である。

WBLは光量が $10,000\text{lx} \pm 10\%$ であり、30分間照射すると自動消灯するように設定されている。なお着用による効果についても十分に検討がされており、従来の据え置き型の治療器と同等の治療効果があることが認められている[24]。

II-4 運動試験

運動パフォーマンスを評価するために、以下の2つのテストを実施した。

① 握力

握力 (HS) は N-FORCE デジタル握力計 (株式会社 CORVETTE) を使用した。被験者は立位で、利き手を用いて3回連続で測定を行った。実験実施者による“3-2-1-Go”の掛け声の合図で、被験者は最大努力で握力計を握った。なお連続測定による疲労の影響を考慮し、それぞれの計測の間には1分間の休憩を設けた。結果については3回の測定の平均値 (Kg, Mean of Power : HS- P_{Mean}) を評価した。

② ウィンゲートテスト

ウィンゲートテスト (WT) とは、自転車エルゴメーター上で一定の負荷をかけた状態で30秒間の全力ペダリング動作を行うものである [32,33]。本実験では自転車エルゴメーターとして、エルゴメーター風神雷 (株式会社大橋知創研究所) を使用した。測定の前に準備運動として3分間の自転車エルゴメーター運動を行ったのち、4分間の安静を挟んで本番の30秒間のWTを実施した。なお準備運動の3分間は、被験者全員が70Wという一定の負荷のもと、60rpmでエルゴメーター運動を行った。

ウィンゲートテスト本番では、被験者は体重の7.5%の一定の負荷に対して30秒間最大努力でペダルを漕いだ。本研究で評価されたパラメーターは最大パワー (W, Maximum of Power : WT- P_{Max})、30秒間の平均パワー (W, Mean of Power : WT- P_{Mean})、最大パワー到達時

間 (秒, Time to Maximum: TM), 最大回転数 (rpm, Maximum Number of Revolutions: MNR), パワー減少率 (% , Fatigue Index: FI) である。なお, FI は 5 秒毎に区切られた 6 つの区間の各平均パワーのうち, 最大平均パワーと最小平均パワーの差を最大平均パワーで割ったことで得られたパワーの減少率である。FI を算出するための計算式については以下に示す。

$$FI = \left[\frac{\text{最大平均パワー}(W) - \text{最小平均パワー}(W)}{\text{最大平均パワー}(W)} \right] \times 100$$

II-5 質問紙

質問紙は PSQI, MEQ, 主観的 (Visual Analogue Scale: VAS), カロリンスカ眠気尺度 [34] (Karolinska Sleepiness Scale: KSS), 睡眠スケジュールの記録紙 (以下睡眠記録紙) を用いた。なお, 質問紙はすべて日本語版 [35,36,37] を用いた。PSQI, MEQ, VAS は DAY 0 および DAY 7 の 8:00 に回答してもらい, KSS は DAY 0 から DAY 7 までの全ての日に回答してもらった。回答は, AM と PM の運動試験の中央時刻となる 12:30 とした。

一方で, VAS は回答時の心身の状態に関する 6 つの質問によって構成されていた。質問項目は①眠気, ②爽快感, ③幸福感, ④全身の疲労感, ⑤上肢の疲労感, ⑥下肢の疲労感, に関する 6 問だった。実際に使用した VAS 質問紙については, 巻末に付録として示す。

II-6 活動量計

各試行期間中の睡眠動態を評価するために、被験者には活動量計を装着して生活してもらった。本実験では、MTN-220（アコーズ株式会社）を使用した。また活動量計のデータの取り込みは、ソフトウェア SleepSign[®]Act（KISSEI COMTEC 株式会社）を用いた。活動量計からは①睡眠時間（Total Sleep Time：TST）、②睡眠潜時間（Sleep Latency：SL）、③睡眠効率（Sleep Efficiency：SE）、④睡眠時中央時刻（Midpoint of Sleep：MS）の4つの指標を評価した。なお活動量計は入浴時以外、原則的に外さないように伝えた。ただし、水に濡れるおそれのある活動を実施する場合のみ、機器の破損防止のため着脱を認めた。

II-7 被験者の身体情報の取得

実験に先立ち、被験者の身体の基本情報である体重、体位組成を計測した。これらの計測には体成分分析装置 Inbody770（InBody Japan Inc.）を用いた。Inbody770からは基本情報として、被験者の体重、筋肉量、体脂肪率、細胞外水分比、下半身筋肉量を得た。また年齢と身長については被験者の自己申告にてデータを得た。被験者のBMIについてはInbody770から得られた体重と、自己申告によって得られた身長を用いて算出した。

II-8 統計分析

すべての測定結果について平均値と標準偏差 (Standard Deviation: SD) が算出された。なお以下からの結果については、原則として平均値±SDと表記した。高照度光の照射による運動パフォーマンスの変化を評価するために、独立変数を試行群 (T 試行・C 試行)、運動試行の実施日 (DAY0・DAY7)、運動試行の時間帯 (AM・PM) の 3 要因として、被験者内 2 要因分散分析を行った。さらに、事後検定として Bonferroni 法を用いた多重比較を行った。

一方、KSS の評価については独立変数を試行群 (T 試行・C 試行) と試行期間の前後半 (DAY0-2・DAY5-7) として、二元配置分散分析を行った。

統計解析には Windows 版 IBM SPSS Statistics 27 (IBM 社製) を用いた。なお有意水準は 5% 未満とし、10% 未満については傾向がみられたとして結果に記した。

II-9 COVID-19 感染対策

COVID-19 感染対策は、早稲田大学スポーツ科学学術院に所属し医師の資格を持つ准教授の助言をもとに、以下の 8 項目を実施した。

- ① 実験実施前には実験参加者全員に検温と体調の確認を行う。検温で発熱が確認された場合や問診で COVID-19 が疑われる症状が確認された場合は実験を中止する。
- ② 実験中は実験参加者全員にマスクを着用させる。
- ③ 対象者、実験実施者にマスクを着用させる（仮眠中は外す）。
- ④ 窓を開放して換気を行う。
- ⑤ 会話が最小限となるように努める。
- ⑥ 実験室内に存在する実験参加者の総人数が 5 名以下となるよう人数制限を行う。
- ⑦ 実験の前後には実験参加者全員に手指のアルコール消毒を行わせる。
- ⑧ 使用機器をアルコールで消毒する。

以上のとおり、感染症対策を十分に行ったうえで全ての実験を実施した。

本研究は、早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の審査を経て承認を得たうえで実施をした(承認番号：2021-098)。

III 結果

本研究では 14 名がクロスオーバー法で、6 名が介入実験のみに参加した。ただしクロスオーバー法で参加した 14 名のうち、1 名については著しい天候悪化による危険性から一部の運動試験（T 試行の DAY7-PM）に参加できなかった。そのため運動試験の結果について、最終的には 13 名のデータを採用して統計解析を行った。なお介入実験のみに参加した 6 名のデータについては、以下のすべての分析から除外した。本研究で得られた結果について以下に示す。

III-1 被験者情報

本研究に参加した 20 名の被験者の身体組成、および質問紙によって得られた睡眠習慣に関する結果を以下の Table 1 と Fig. 3-1 に示す。

Table 1 被験者の基本情報

n = 20	平均 ± SD	最大値	最小値	中央値
年齢 (歳)	22.2 ± 0.92	24	21	22
身長 (cm)	176.2 ± 5.53	185.4	169	177
体重 (Kg)	74.9 ± 10.8	94.8	61	71.8
筋肉量 (Kg)	61.1 ± 7.77	77.7	51.7	58.9
体脂肪率 (%)	13.8 ± 6.70	30.1	7.7	12.1
細胞外水分比	0.37 ± 0.010	0.38	0.35	0.37
下半身筋肉量 (Kg)	20.3 ± 2.26	25	17.6	19.7
BMI	24.5 ± 3.09	30.0	20.4	23.6
MEQ (点)	51.1 ± 6.25	63	40	50
PSQI (点)	5.4 ± 2.23	9	2	6

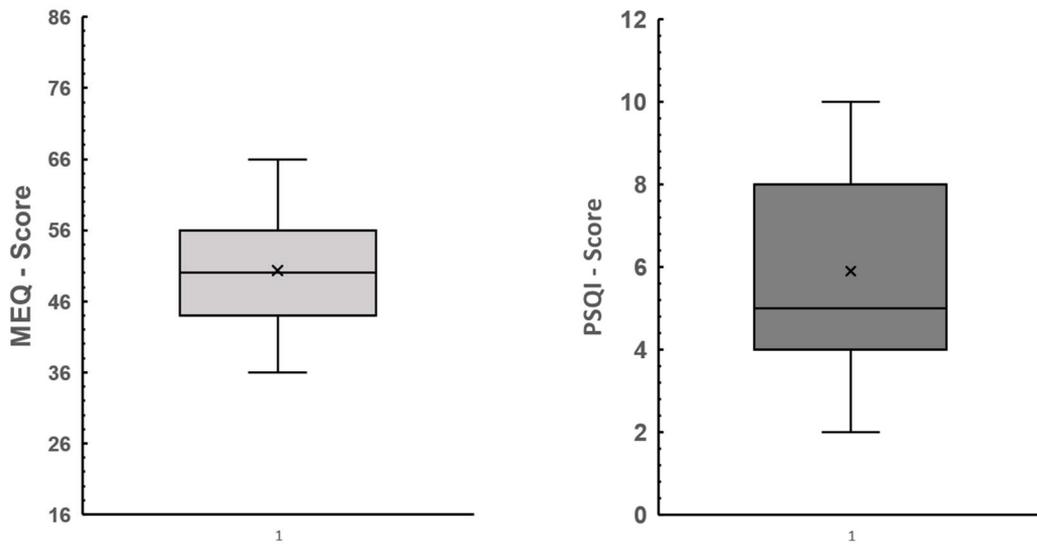


Fig. 3-1 MEQ および PSQI のスコア分布

III-2 運動試験環境

本研究の運動試験実施時における周辺環境（時間・室温・湿度）に関する結果を以下の Table 2 に示す。AM および PM の運動試験時における周辺環境の各項目について、それぞれ一元配置分散分析を行った結果、有意差は認められなかった。

Table 2 実験環境

Time	Variable	Treatment		Control		<i>p</i> value
		DAY0	DAY7	DAY0	DAY7	
AM	時間 (h:mm)	9:07 ± 0.01	9:03 ± 0.01	8:59 ± 0.01	9:09 ± 0.01	0.305
	室温 (°C)	18.66 ± 4.11	18.32 ± 4.55	18.54 ± 4.28	21.22 ± 12.32	0.508
	湿度 (%)	51.70 ± 17.42	52.15 ± 17.62	50.50 ± 15.32	48.45 ± 18.42	0.504
PM	時間 (h:mm)	16:06 ± 0.01	16:06 ± 0.01	16:03 ± 0.01	16:02 ± 0.01	0.456
	室温 (°C)	21.88 ± 2.93	21.40 ± 3.2	22.53 ± 2.27	22.19 ± 2.75	0.748
	湿度 (%)	44.65 ± 17.36	47.37 ± 18.03	22.53 ± 15.75	44.00 ± 17.89	0.760

III-3 口腔内温度

口腔内温度について被験者内2要因分散分析を行った (Fig. 3-2). その結果, 試行群 (T試行・C試行), 運動試験の実施日 (DAY0・DAY7), 運動試験の時間帯 (AM・PM) の3要因に交互作用は認められなかった ($F_{(1, 12)} = 0.256, p = 0.622, \eta_p^2 = 0.021$).

ただし運動試験の時間帯 (AM・PM) の要因について主効果が認められ, PMにおいて口腔内温度が有意に増加した ($F_{(1, 12)} = 22.825, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.655$).

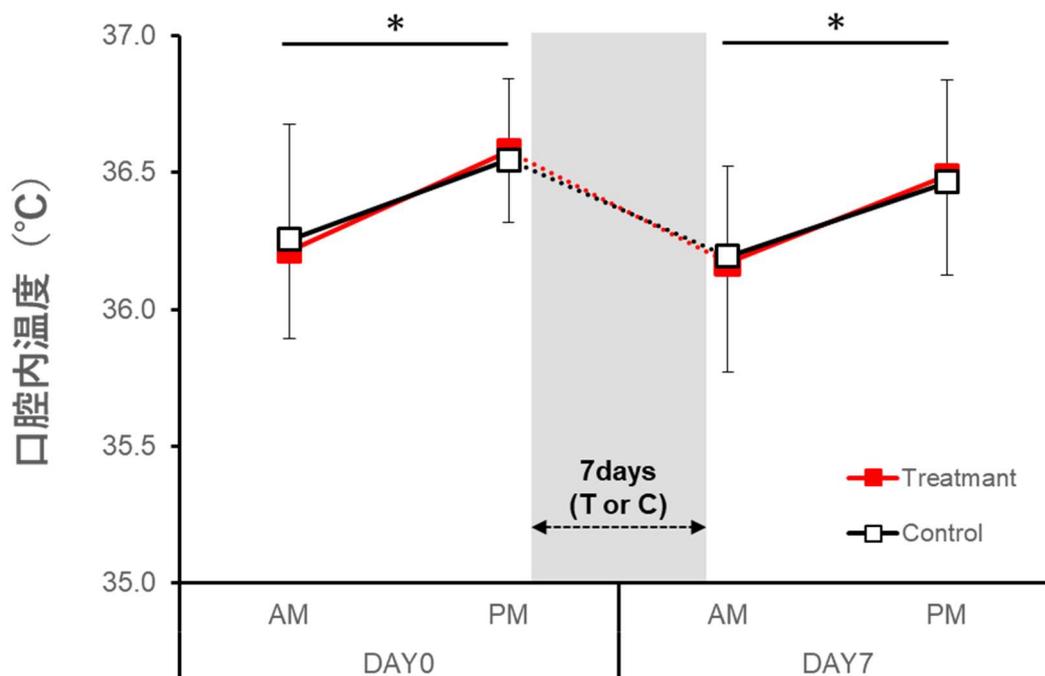


Fig. 3-2 口腔内温度の変化

ただし, 以降グラフ内のグレー部は試験期間中の7日間を示す.

(* ; $p < 0.001$ between the values indicated)

III-4 運動試験

III-4.1 握力

HS の 3 回の平均値について被験者内 2 要因分散分析を行った (Fig. 3-3). その結果, 試行群 (T 試行・C 試行), 運動試験の実施日 (DAY0・DAY7), 運動試験の時間帯 (AM・PM) の 3 要因に交互作用は認められなかった ($F_{(1, 12)} = 0.205, p = 0.659, \eta_p^2 = 0.017$).

また運動試験の時間帯 (AM・PM) の要因による主効果についても, 有意差は得られなかった ($F_{(1, 12)} = 1.939, p = 0.189, \eta_p^2 = 0.139$).

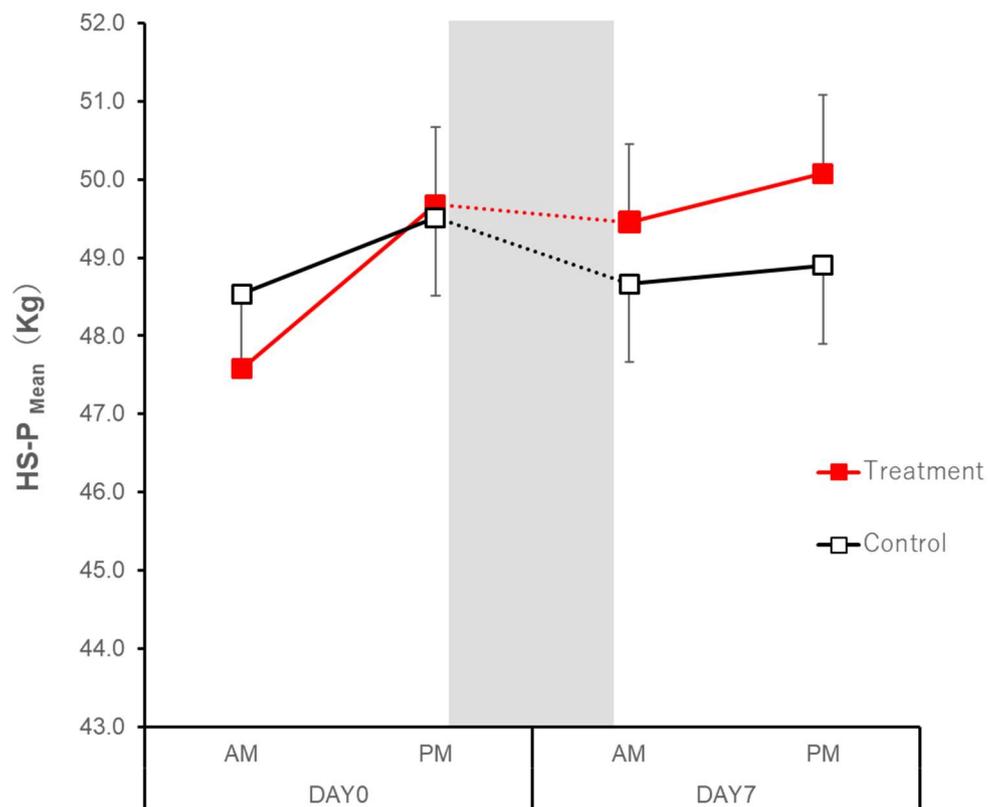


Fig. 3-3 握力の平均値の変化

III-4.2 ウィンゲートテスト

WT については，最大パワー (WT- P_{Max})，30 秒間の平均パワー (WT- P_{Mean})，最大パワー到達時間 (TM)，最大回転数 (MNR)，パワー減少率 (FI) を分析した．また，1 名の被験者については測定機械の不具合により一部のデータが取得できなかったため，12 名を以下の分析の対象とした．

III-4.2.1 最大パワー

WT- P_{Max} について被験者内 2 要因分散分析を行った (Fig. 3-4)．その結果，試行群 (T 試行・C 試行)，運動試験の実施日 (DAY0・DAY7)，運動試験の時間帯 (AM・PM) の 3 要因に交互作用は認められなかった ($F_{(1, 11)} = 1.517$, $p = 0.244$, $\eta_p^2 = 0.121$)．

ただし運動試験の時間帯 (AM・PM) の要因について主効果が認められ，PM において WT- P_{Max} が有意に増加した ($F_{(1, 11)} = 71.148$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.866$)．

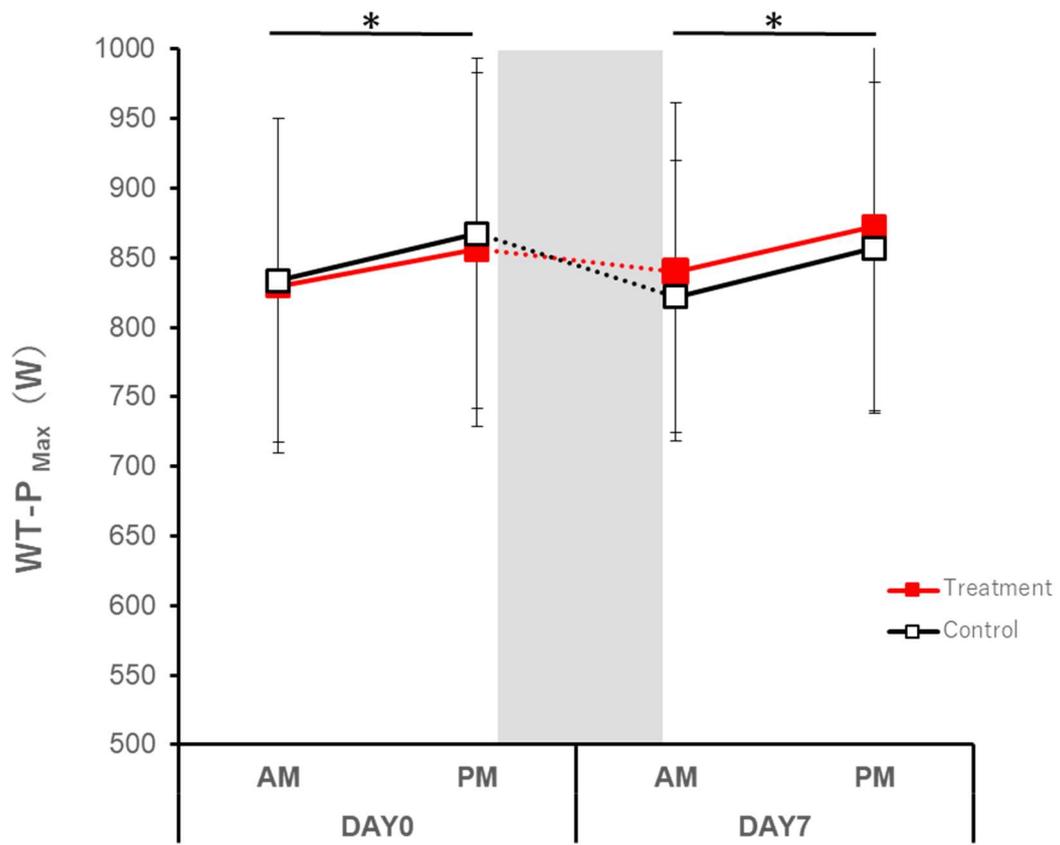


Fig. 3-4 WT-P_{Max} の変化

(* ; p < 0.001 between the values indicated)

III-4.2.2 平均パワー

WT-P_{Mean}について被験者内2要因分散分析を行った (Fig. 3-5). その結果, 試行群 (T 試行・C 試行), 運動試験の実施日 (DAY0・DAY7), 運動試験の時間帯 (AM・PM) の3要因に交互作用は認められなかった ($F_{(1, 11)} = 0.818, p = 0.385, \eta_p^2 = 0.069$).

ただし運動試験の時間帯 (AM・PM) の要因について主効果が認められ, PMにおいてWT-P_{Mean}が有意に増加した ($F_{(1, 11)} = 17.045, p = 0.002, \eta_p^2 = 0.608$).

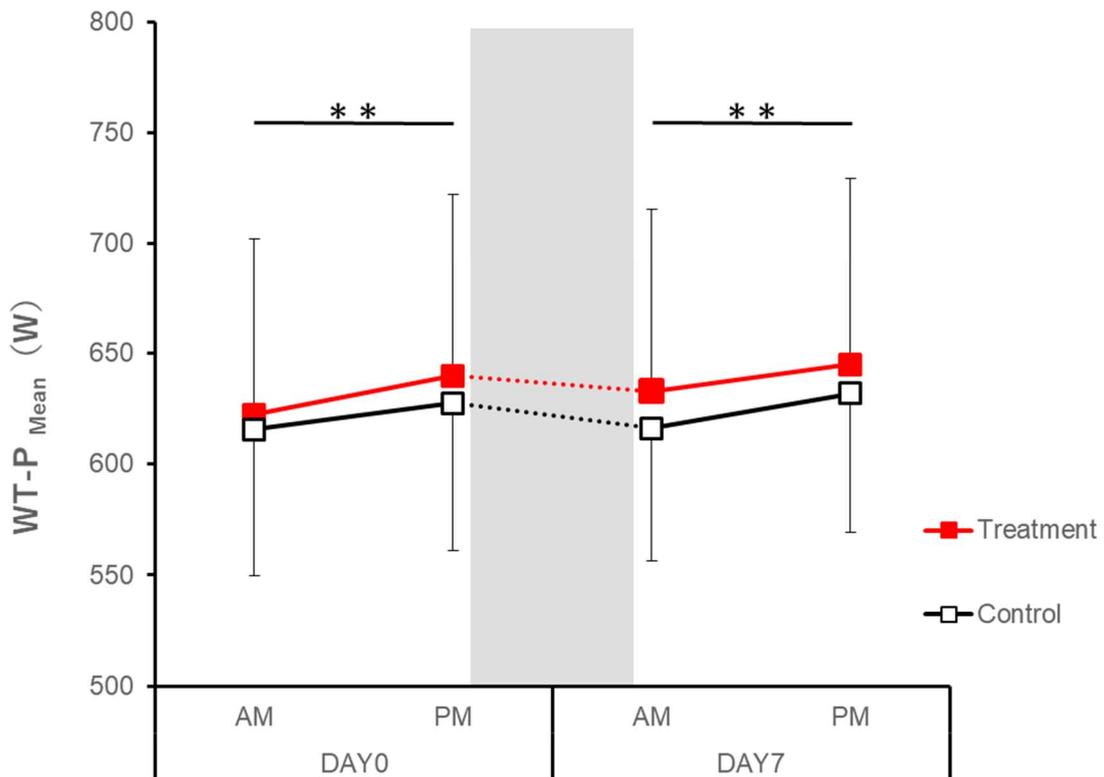


Fig. 3-5 WT-P_{Mean} の変化

(** ; $p < 0.05$ between the values indicated)

III-4.2.3 最大回転数

MNR について被験者内 2 要因分散分析を行った (Fig. 3-6). その結果, 試行群 (T 試行・C 試行), 運動試験の実施日 (DAY0・DAY7), 運動試験の時間帯 (AM・PM) の 3 要因に交互作用は認められなかった ($F_{(1, 11)} = 0.028, p = 0.870, \eta_p^2 = 0.003$).

ただし運動試験の時間帯 (AM・PM) の要因について主効果が認められ, PM において MNR が有意に増加した ($F_{(1, 11)} = 56.538, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.837$).

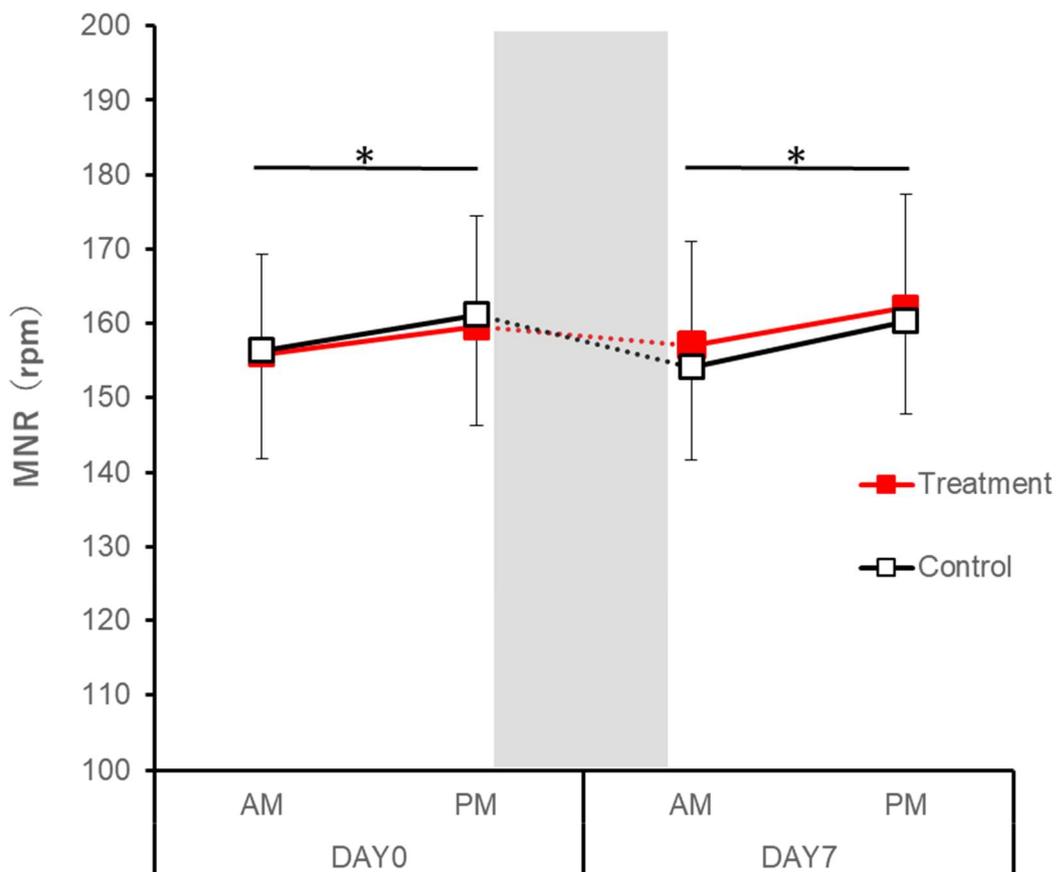


Fig. 3-6 MNR の変化

(* ; $p < 0.001$ between the values indicated)

III-4.2.4 最大パワー到達時間

TM について被験者内 2 要因分散分析を行った (Fig. 3-7). その結果, 試行群 (T 試行・C 試行), 運動試験の実施日 (DAY0・DAY7), 運動試験の時間帯 (AM・PM) の 3 要因に交互作用は認められなかった ($F_{(1, 11)} = 0.568, p = 0.467, \eta_p^2 = 0.049$).

また運動試験の時間帯 (AM・PM) の要因による主効果についても, 有意差は認められなかった ($F_{(1, 11)} = 0.001, p = 0.971, \eta_p^2 = 0.000$).

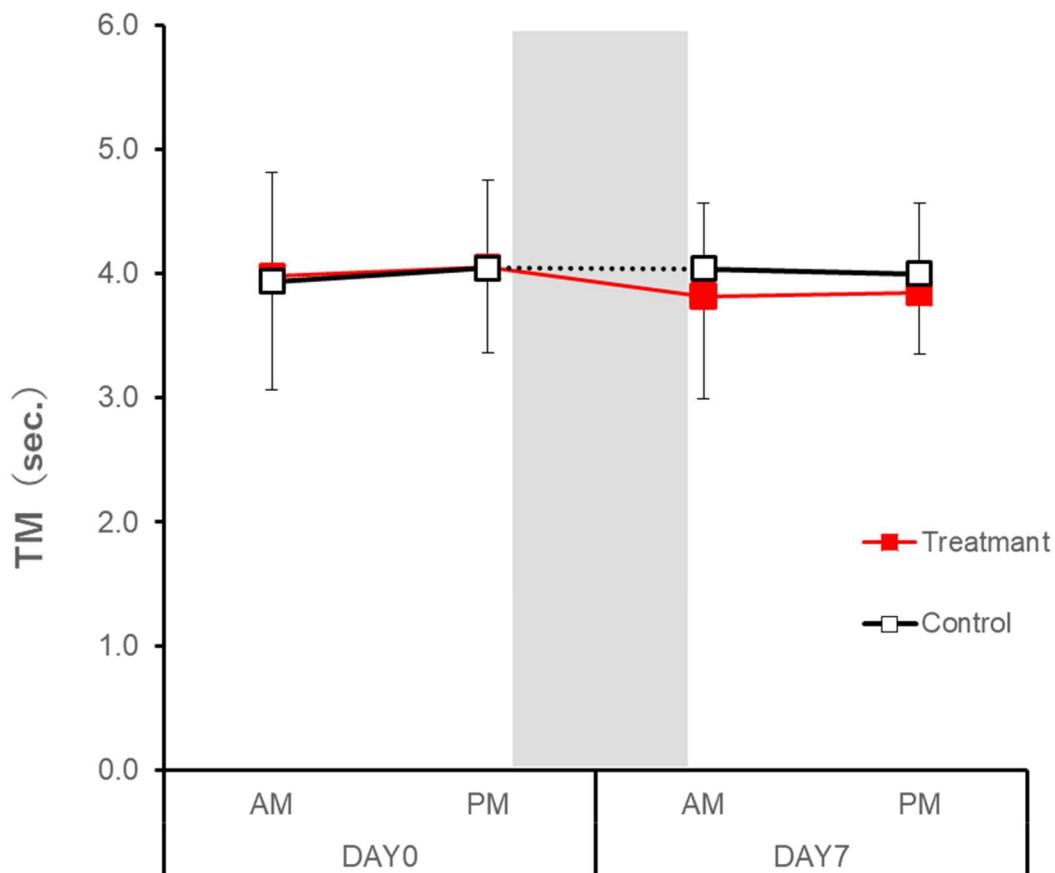


Fig. 3-7 TM の変化

III-4.2.5 パワー減少率

FIについて被験者内2要因分散分析を行った (Fig. 3-8). その結果, 試行群 (T 試行・C 試行), 運動試験の実施日 (DAY0・DAY7), 運動試験の時間帯 (AM・PM) の3要因に交互作用は認められなかった ($F_{(1, 11)} = 0.301, p = 0.594, \eta_p^2 = 0.027$).

ただし運動試験の時間帯 (AM・PM) の要因について主効果が認められ, PMにおいてFIが有意に増加した ($F_{(1, 11)} = 22.850, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.675$).

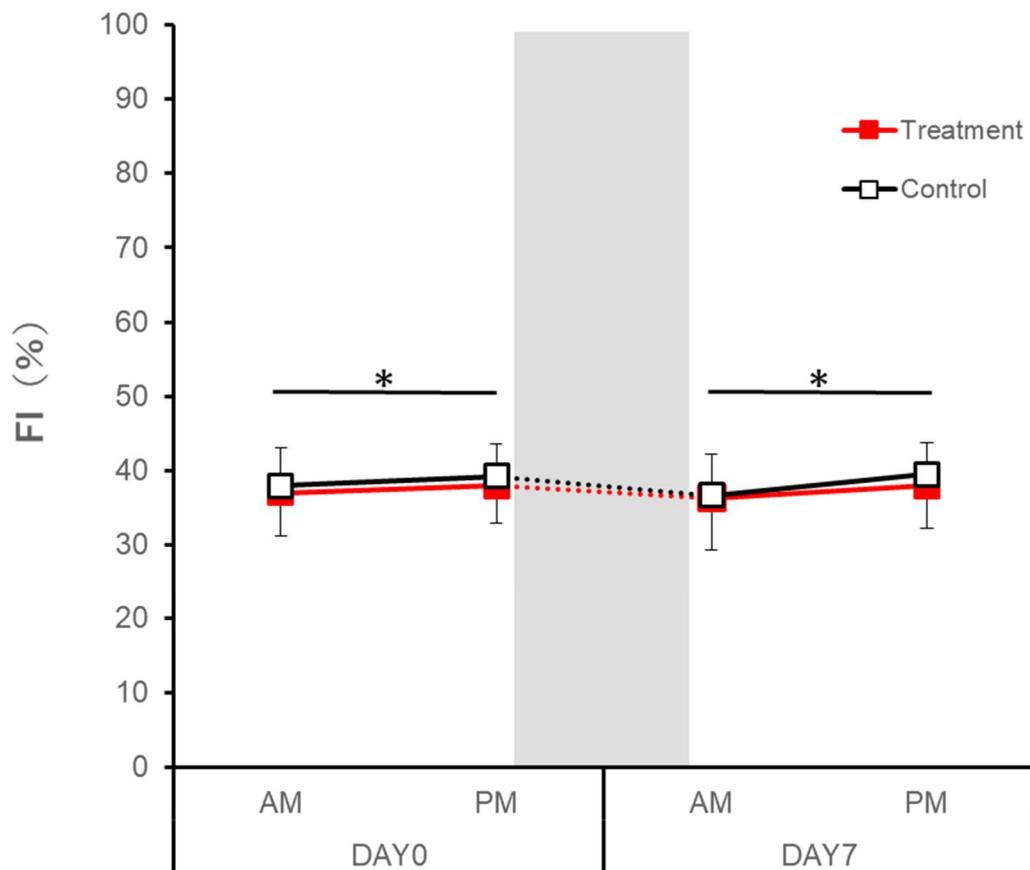


Fig. 3-8 FI の変化

(* ; $p < 0.001$ between the values indicated)

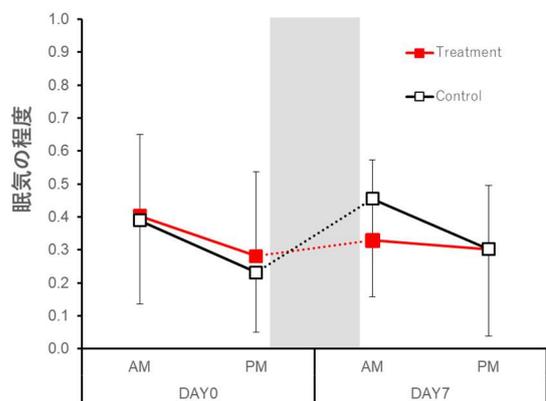
III-5 質問紙

III-5.1 VAS

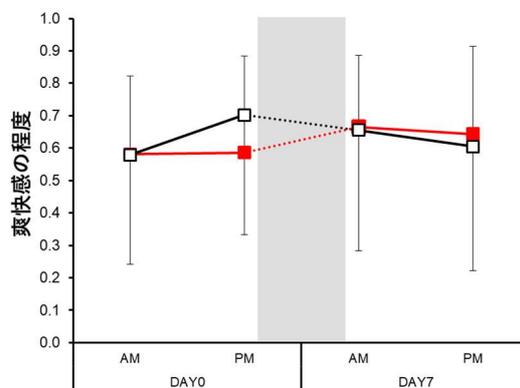
6つの質問項目についてそれぞれ被験者内 2 要因分散分析を行った (Fig. 3-9). その結果すべての質問項目において, 試行群 (T 試行・C 試行), 運動試験の実施日 (DAY0・DAY7), 運動試験の時間帯 (AM・PM) の 3 要因に交互作用は認められなかった.

ただし, 「E. 上肢の疲労感」については, 運動試験の実施日 (DAY0・DAY7) の主効果に有意差が認められた ($F_{(1, 11)} = 5.421, p = 0.040, \eta_p^2 = 0.330$).

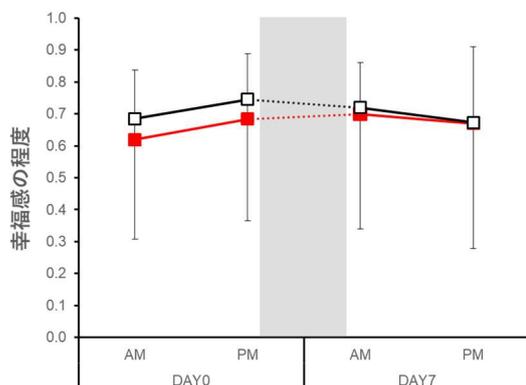
A. 眠気



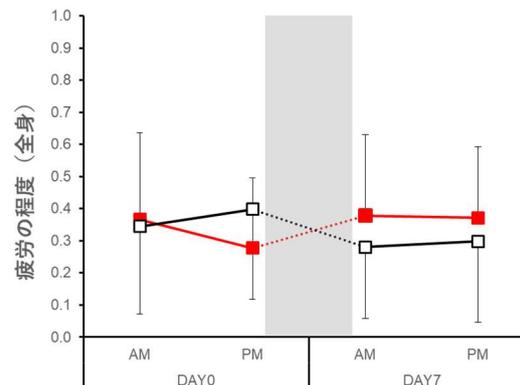
B. 爽快感



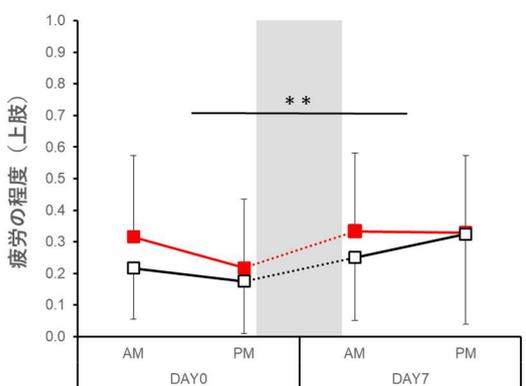
C. 幸福感



D. 全身の疲労感



E. 上肢の疲労感



F. 下肢の疲労感

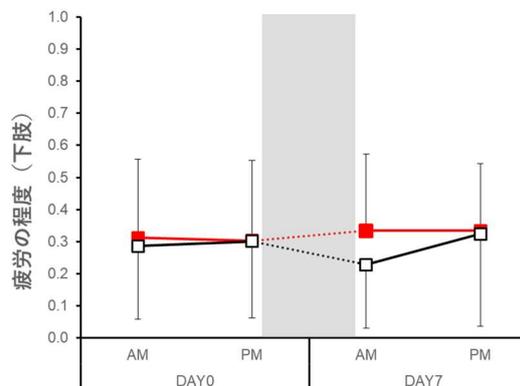


Fig. 3-9 各 VAS の変化

(** ; $p < 0.05$ between the values indicated)

III-5.2 KSS

KSS については，クロスオーバー法で参加した 14 名のデータを解析の対象とした。

T 試行，C 試行のそれぞれの実験期間における，前半 3 日間（DAY0-2）と後半 3 日間（DAY5-7）の KSS の平均値を比較した。これらの結果について二元配置分散分析を行ったところ，交互作用に傾向が認められた（ $F_{(1, 11)} = 4.556$, $p = 0.052$, $\eta_p^2 = 0.259$ ）。

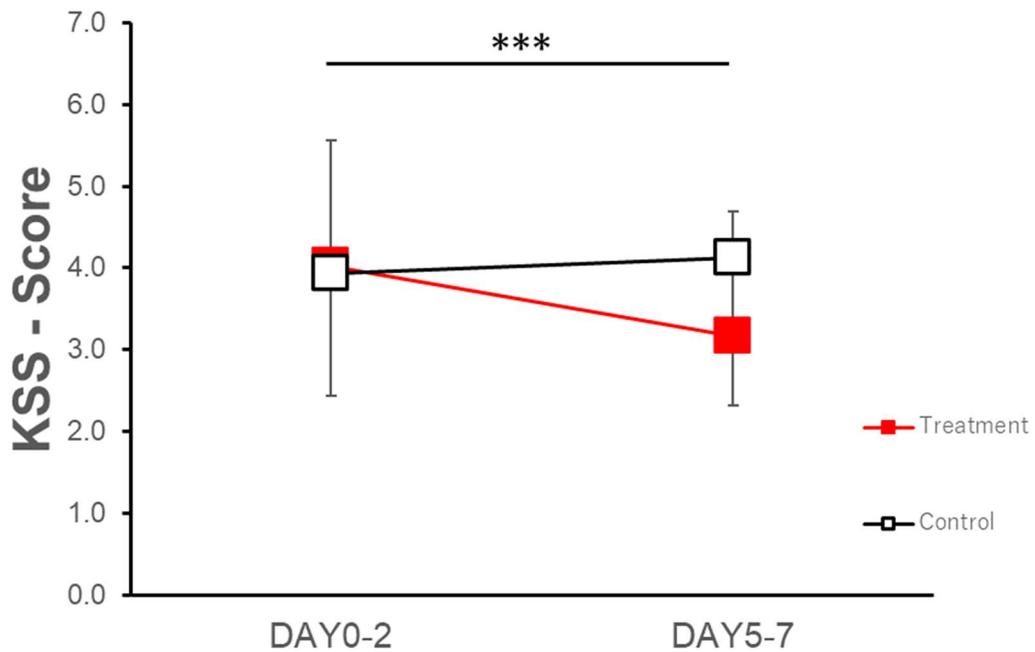


Fig. 3-10 KSS のスコアの変化

(*** ; $p < 0.1$ between the values indicated)

III-6 活動量計

被験者から回収した活動量計から，試験期間中の睡眠動態に関するデータを取得した．回収したデータのうち，有効だった10名分のデータのみ分析の対象とした．ただし就寝時刻と起床時刻については，活動量計を用いてその時刻を記録できなかった場合がある．この場合に限り，被験者が睡眠記録紙によって自己申告した時刻を分析するデータとして採用している．

T 試行，C 試行のそれぞれの試験期間における，前半3日間（DAY0-2）と後半3日間（DAY5-7）の各指標の平均値を比較した．これらの結果について二元配置分散分析を行ったところ，交互作用に有意な差は認められなかった（Table 3）．

Table 3 睡眠状態の変化

n=10 Variable	Treatment		Control		2way-ANOVA	
	DAY0-2	DAY5-7	DAY0-3	DAY5-7	p	η_p^2
TST (hh:mm)	5:52 ± 0.06	4:55 ± 0.05	5:04 ± 0.06	5:40 ± 0.05	0.10	0.273
SL (hh:mm)	0:16 ± 0.01	0:31 ± 0.02	0:21 ± 0.02	0:44 ± 0.02	0.23	0.158
SE (%)	79.53 ± 12.55	76.70 ± 16.29	81.68 ± 10.08	74.77 ± 14.31	0.15	0.217
就寝時刻	6:39 ± 0.36	5:07 ± 0.31	4:17 ± 0.24	5:03 ± 0.31	0.22	0.024
起床時刻	8:27 ± 0.08	7:32 ± 0.05	8:20 ± 0.06	7:53 ± 0.05	0.19	0.182
睡眠中央時刻	4:58 ± 0.07	4:37 ± 0.05	5:23 ± 0.05	4:37 ± 0.06	0.82	0.006

IV 考察

IV-1 高照度光照射と口腔内温度・運動パフォーマンス

今回は、起床後 30 分間の高照度光照射による午前中の運動パフォーマンスの改善を検証することを目的として実験を行った。

その結果、1 週間にわたる WBL の暴露の有無と時間帯別の運動パフォーマンスの結果の間に交互作用は認められず、WBL による午前中の運動パフォーマンスの改善効果は得られなかった。一方で、時間帯 (AM・PM) の主効果は認められ、運動パフォーマンスの結果について日内変動を確認することができた。また口腔内温度の変化についても、時間帯による有意な上昇が認められた。このように、時間帯によって運動パフォーマンスと口腔内温度が変化するという結果は、過去の多くの先行研究を支持するものとなった [11-17]。

また運動試験の結果のうち、本研究で日内変動が確認されたものは WT における $WT-P_{Max}$ 、 $WT-P_{Mean}$ 、MNR、FI であった。このうち $WT-P_{Max}$ 、 $WT-P_{Mean}$ 、MNR の 3 つの指標については、AM から PM にかけてパフォーマンスが有意に向上した。これらの結果については、Souissi et al. (2007, 2010) や Chtourou et al. (2011) が報告した、WT における運動パフォーマンスの日内変動と一致するものである。本実験の結果から、運動パフォーマンスは AM と比較して PM において高い水準にあることが改めて示唆された。

一方で、FI に関しては AM から PM にかけて有意に上昇したことから、PM においてパフォーマンスが低下することを示唆する結果となった。Souissi et al. (2007) は WT におけるパワーの低下 (本研究におけ

る FI) は AM の方が PM よりも大きかったという本実験とは逆の結果を示した。Souissi らは WT テスト中における有酸素性能の寄与度を同時に評価しており、無酸素性運動に分類される WT において、有酸素性能の寄与度が AM から PM にかけて上昇したことを報告している。そのため Souissi らは、WT における FI が PM において減少したのは、有酸素性能の寄与度が向上したことに起因すると考察している。

一方で、Chtourou et al. (2011) は AM よりも PM の方が WT の FI が高かったことを報告している。この結果は、本研究における実験結果と一致するものである。

Chtourou らは、WT における $WT-P_{Max}$ が PM にかけて増加したものの最小パワー ($WT-P_{Min}$) に日内変動が認められなかったことを示唆している。そのため FI が PM に高くなった原因について Chtourou らは、変化しなかった $WT-P_{Min}$ に対して、 $WT-P_{Max}$ が増加したからであると考察している。

残念ながら本研究においては $WT-P_{Min}$ が算出されなかったため、FI の PM における増加の原因が $WT-P_{Max}$ の増加にあることを断言することはできない。しかし、 $WT-P_{Mean}$ も PM にかけて増加していることから、 $WT-P_{Min}$ は少なくとも PM にかけて低下しなかったことが考えられる。そのため、Chtourou らが示唆したように FI の増加が $WT-P_{Max}$ の増大に起因する可能性は十分にあると考えられる。

一方で、HS について本実験では時間帯によるパフォーマンスの変化に統計的な有意差を得られなかった。先行研究においては日内変動を示唆する研究結果があるものの、本研究においては PM にかけて有意に向上することを確認することができなかった。

これらの原因については断言できることが無いものの、計測機器の精度や計測方法などによって各被験者内のデータのばらつきが大きくなってしまったことも可能性として存在している。

さらに HS のパフォーマンスについて、BL の介入による効果が得られなかったことは、過去の先行研究の結果の一部と一致する。Knaier et al. (2022) は夕方の時間帯に 60 分間の BL 照射をすることで、血中のメラトニン濃度と HS のパフォーマンスがどのように変化するか評価した。Knaier らは、BL の照射によってメラトニン濃度が低下したものの、HS のパフォーマンスは有意に向上しなかったことを明らかにした。Knaier らは BL 照射によるパフォーマンスへの効果が得られなかった原因について、身体能力が高いアスリートを対象にしたこと、また日内変動におけるパフォーマンスがピークを迎える時間帯に実験を行ったこと（天井効果）を挙げている。

朝と夕方の異なる時間帯に実験を実施したというプロトコルの点において、Knaier らの研究と本研究は一線を画すものの、瞬間的な最大随意筋収縮によって結果が左右される HS のようなシンプルな運動には、BL の照射による効果は極めて小さいものである可能性が考えられる。Knaier らは考察において、HS よりも多くの機能や骨格筋を動員する運動による評価を行う必要があると説明しており、HS は急性的な眠気や体内リズムの変化による影響を受けにくいことが考えられる。

また各運動において、本実験で BL による期待された結果が得られなかった原因として、被験者の特性や交絡因子の存在も考えられる。

Lim et al. (2021) はアスリートを対象に、クロノタイプと運動能力・睡眠習慣の関係を調査した研究において、夜型のアスリートは朝型のア

スリートよりも睡眠の質が悪く、運動能力も低い傾向にあることを示唆している。このことから、運動パフォーマンスと睡眠習慣が比較的低水準にあるとされる夜型の被験者のみを実験対象とすることで、BLの介入効果を得られやすいことも考えられる。

一方、交絡因子の存在について、最も影響が考えられる要因は食事である。

Bougard et al. (2009) は朝 6:00 における運動パフォーマンスと体温に対して、朝食の有無や起床時間の違いが影響するかについて研究を行った。その結果 Bougard らはこれらの要因が運動パフォーマンスと体温に影響を及ぼすことを明らかにしており、実験プロトコルを練る際にはこれらを統制する必要性を主張している。

また Bommasamudram et al. (2022) は、運動試験前の食事の統制だけでなく水の摂取や室温についても、概日リズムと運動パフォーマンスの関係を調査するうえで考慮する必要があることを示唆している。

以上のように、本研究において予想された結果が得られなかった原因として複数の交絡因子の存在が考えられる。今後の研究では、食事のタイミング、室温などの統制を行い、可能な限りこれら交絡因子による影響を取り除く努力をしなければならないと考える。

IV-2 高照度光照射と質問紙・主観的評価

本研究では、主観的な眠気や心身の状態の評価に VAS 質問紙（運動試験時）と KSS（試験期間中の毎日 12:30）の 2 つを用いた。その結果、KSS において WBL による介入期間中の後半に眠気が低下する傾向があることが明らかとなった。本研究においては統計的な有意差までは得られなかったものの、WBL の使用による効果を期待させる結果を得ることができた。

KSS を用いた主観的な眠気の評価については、WBL への暴露によって日中の眠気が低下する研究結果が示されている [18,26]。本研究で得られた傾向は、これらの研究結果を支持するものであった。

また一方で WBL を利用した被験者から、夜間に「眠気を感じる時間が早まった」、もしくは「眠気を感じやすくなった」という内省報告があった。本研究においては、活動量計のデータを十分に収集することができず、睡眠覚醒リズム位相の前進について客観的な評価を行うことは困難であった。しかし、日中において主観的な眠気が低下する傾向や内省報告などを総合的に考慮すると、WBL の長期的な使用による生活リズムの健全化もしくは、日中の覚醒度の向上によって運動パフォーマンスの改善につながる可能性はある。

IV-3 新たな WBL の開発

本研究は BL の照射に既製品の WBL を使用したが、より効果的な治療器を開発するための研究も行われている。

Kubota et al. (2022) は WBL を用いた概日リズムの光反応性に関する研究を行い、光の入射角を変えることで、より効果的な治療をすることができることを明らかにした [43]。Kubota らは光の入射角を小さくすることで、唾液中のメラトニン濃度およびメラトニン抑制率が有意に低下したことを明らかにした。

これまでは、BL を照射する際の入射角まで検討することはあまり行われてこなかった。しかし、入射角によって高照度光治療の効果を最大限引き出すことが可能となれば、スポーツパフォーマンスへの介入効果も期待できるようになるかもしれない。

V 結論

今回は、ウェアラブル型の機器を使用した、起床後 30 分間の高照度光照射による午前中の運動パフォーマンスの改善を検証することを目的に研究を行った。その結果、WBL の照射によって運動パフォーマンスが改善することは確認できなかったものの、日中の覚醒度が低下する可能性があることが明らかとなった。また先行研究と同様に、一部の運動パフォーマンスについては AM から PM にかけて向上することが分かった。

今後は被験者を増やして分析を行うことや、実験環境・食事時間の統制などを実施し、より長期的な介入研究を行う必要があると考えられる。そして、多くのアスリートが競技に向けて万全なコンディショニングを行えるように、BL による概日リズムや運動パフォーマンスへの前向きな効果を検証していくことが望まれる。

VI 参考文献

- (1) 生物時計研究の歴史 - 花井@産総研. 2009; Available at:
<https://staff.aist.go.jp/s-hanai/history.html#1729>. Accessed Dec 14,
2022.
- (2) De Mairan. Observation botanique. Histoire de l'Academie Royale
des. 1729:35-36.
- (3) Jurgen Aschoff. Circadian Rhythms in Man. Science 1965 11
Jun;148(3676):1427-1432.
- (4) Moore RY, Eichler VB. Loss of a circadian adrenal corticosterone
rhythm following suprachiasmatic lesions in the rat. Brain research
1972;42(1):201-206.
- (5) Stephan FK, Zucker I. Circadian Rhythms in Drinking Behavior and
Locomotor Activity of Rats are Eliminated by Hypothalamic Lesions.
Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS 1972
Jun;69(6):1583-1586.
- (6) Tomoaki Kozaki, Miyuki Ina, Akira Tasukouchi. The advancing
effect of different light intensities in the morning on dim light
melatonin on set (DLMO) and its phase response. 日本生理人類学会誌
2014 Feb;19(1):7-11.

(7) Duffy JF, Zeitzer JM, Rimmer DW, Klerman EB, Dijk D, Czeisler CA. Peak of circadian melatonin rhythm occurs later within the sleep of older subjects. *American Journal of Physiology - Endocrinology And Metabolism* 2002 Feb;282(2):297-303.

(8) Cagnacci A. Influences of Melatonin on Human Circadian Rhythms. *Chronobiology international* 1997;14(2):205-220.

(9) Gradisar M, Lack L. Relationships between the Circadian Rhythms of Finger Temperature, Core Temperature, Sleep Latency, and Subjective Sleepiness. *J Biol Rhythms* 2004;19(2):157.

(10) Cajochen C, Kräuchi K, Wirz-Justice A. Role of Melatonin in the Regulation of Human Circadian Rhythms and Sleep. *Journal of neuroendocrinology* 2003 Apr;15(4):432-437.

(11) Kline EC, J. Larry Durstine, J. Mark Davis, Teresa A. Moore, Tina M. Devlin, Mark R. Zielinski, et al. Circadian variation in swim performance. *American Journal of Public Health and the Nations Health* 1955 Jan;45(1):105.

(12) Ayala V, Martínez-Bebia M, Latorre JA, Gimenez-Blasi N, Jimenez-Casquet MJ, Conde-Pipo J, et al. Influence of circadian

rhythms on sports performance. *Chronobiology International* 2021
Nov;38(11):1522-1536.

(13) Fernandes AL, Lopes-Silva JP, Bertuzzi R, Casarini DE, Arita DY, Bishop DJ, et al. Effect of Time of Day on Performance, Hormonal and Metabolic Response during a 1000-M Cycling Time Trial. *PLoS ONE* 2014;9(10).

(14) Bernard T, Giacomoni M, Gavarry O, Seymat M, FawBLairrette G. Time-of-day effects in maximal anaerobic leg exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 1997
Dec;77(1-2):133-138.

(15) Souissi N, Bessot N, Chamari K, Gauthier A, Sesboüé B, Davenne D. Effect of Time of Day on Aerobic Contribution to the 30-s Wingate Test Performance. *Chronobiology international* 2007;24(4):739-748.

(16) Guette M, Gondin J, Martin A. Time-of-Day Effect on the Torque and Neuromuscular Properties of Dominant and Non-Dominant Quadriceps Femoris. *Chronobiology international* 2005;22(3):541-558.

(17) Souissi H, Chaouachi A, Chamari K, Dogui M, Amri M, Souissi N. Time-of-Day Effects on Short-Term Exercise Performances in 10- to 11-Year-Old Boys. *Pediatric exercise science* 2010 Nov;22(4):613-623.

(18) Corbett RW, Middleton B, Arendt J. An hour of bright white light in the early morning improves performance and advances sleep and circadian phase during the Antarctic winter. *Neuroscience letters* 2012 Sep;525(2):146-151.

(19) Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, et al. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *The Journal of neuroscience* 2001 Aug;21(16):6405-6412.

(20) Cajochen C, Jud C, Münch M, Kobińska S, Wirz-Justice A, Albrecht U. Evening exposure to blue light stimulates the expression of the clock gene PER2 in humans. *The European journal of neuroscience* 2006 Feb;23(4):1082-1086.

(21) Geerdink M, Walbeek TJ, Beersma DGM, Hommes V, Gordijn MCM. Short Blue Light Pulses (30 Min) in the Morning Support a Sleep-Advancing Protocol in a Home Setting. *Journal of biological rhythms* 2016 Oct;31(5):483-497.

(22) Figueiro MG, Plitnick B, Rea MS. The effects of chronotype, sleep schedule and light/dark pattern exposures on circadian phase. *Sleep medicine* 2014;15(12):1554-1564.

(23) Kosuke Kaida, Masaya Takahashi, Takashi Haratani, Yasumasa Otsuka, Kenji Fukasawa, Akinori Nakata. Indoor Exposure to Natural Bright Light Prevents Afternoon Sleepiness. *Sleep* 2006 Apr;29(4):462-469.

(24) Yuasa T, Miura J, Sugai Y, Ito Y, Sasaki H, Aizu Y. Development and Performance Evaluation of Portable Light Therapy Apparatus for Improvement of Sleep and Wakefulness. *Keisoku Jidō Seigyo Gakkai ronbunshū* 2018;54(8):691-693.

(25) Lovato N, Lack L. Circadian phase delay using the newly developed re-timer portable light device. *Sleep Biol Rhythms* 2016;14(2):157-164.

(26) Jo Phipps-Nelson, Jennifer R. Redman, Derk-Jan Dijk, Shantha M. W. Rajaratnam. Daytime exposure to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. *Sleep* 2003;26(6):695-700.

(27) Rosa JPP, Silva A, Rodrigues DF, Simim MA, Narciso FV, Tufik S, et al. Effect of bright light therapy on delayed sleep/wake cycle and reaction time of athletes participating in the Rio 2016 Olympic Games. *Chronobiology international* 2018 Aug;35(8):1095-1103.

(28) Kantermann T, Forstner S, Halle M, Schlangen L, Roenneberg T, Schmidt-Trucksäss A. The Stimulating Effect of Bright Light on Physical Performance Depends on Internal Time. PLoS ONE 2012;7(7).

(29) Zhang P, Tokura H. Influence of two different light intensities during daytime on endurance performance of handgrip exercise. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 1996;74(4):318-321.

(30) J A Horne OO. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. Int J Chronobiol 1976;4(2):97-110.

(31) D J Buysse, C F Reynolds 3rd, T H Monk, S R Berman, D J Kupfer. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. Psychiatry Res. 1989;28(2):193-213.

(32) Dotan R. The Wingate anaerobic test's past and future and the compatibility of mechanically versus electro-magnetically braked cycle-ergometers. European journal of applied physiology 2006 Sep;98(1):113-116.

(33) Micklewright D, Alkhatib A, Beneke R. Mechanically versus electro-magnetically braked cycle ergometer: performance and energy cost of the Wingate Anaerobic Test. *European journal of applied physiology* 2006 Apr;96(6):748-751.

(34) Torbjörn Åkerstedt, Mats Gillberg. Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual. 1990;52(1-2).

(35) Kosuke Kaida, Masaya Takahashi, Torbjörn Akerstedt, Akinori Nakata, Yasumasa Otsuka, Takashi Haratani, Kenji Fukasawa. Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. *Clin Neurophysiol* 2006 Jul;117(7):1574-1581.

(36) 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* 1986:87-91.

(37) Y Doi, M Minowa, M Uchiyama, M Okawa, K Kim, K Shibui, Y Kamei. Psychometric assessment of subjective sleep quality using the Japanese version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-J) in psychiatric disordered and control subjects. *Psychiatry Res* 2000 Dec; 97(2-3):165-172.

- (38) Souissi N, Driss T, Chamari K, Vandewalle H, Davenne D, Gam A, et al. Diurnal variation in Wingate test performances: influence of active warm-up. *Chronobiology international* 2010 Apr;27(3):640-652.
- (39) Chtourou H, Zarrouk N, Chaouachi A, Dogui M, Behm DG, Chamari K, et al. Diurnal Variation in Wingate-Test Performance and Associated Electromyographic Parameters. *Chronobiology international* 2011 Oct;28(8):706-713.
- (40) Knaier R, Schäfer J, Rossmeissl A, Klenk C, Hanssen H, Höchsmann C, et al. Effects of bright and blue light on acoustic reaction time and maximum handgrip strength in male athletes: a randomized controlled trial. *Eur J Appl Physiol* 2017;117(8):1689-1696.
- (41) Lim S, Kim D, Kwon H, Lee E. Sleep quality and athletic performance according to chronotype. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 2021 Jan;13(1):2.
- (42) Bougard C, Bessot N, Moussay S, Sesboüé B, Gauthier A. Effects of Waking Time and Breakfast Intake Prior to Evaluation of Physical Performance in the Early Morning. *Chronobiology international* 2009;26(2):307-323.

(43) Bommasamudram T, Ravindrakumar A, Varamenti E, Tod D, Edwards BJ, Peter IG, et al. Daily variation in time-trial sporting performance: A systematic review. *Chronobiology international* 2022 Sep;39(9):1167-1182.

(44) Kubota N, Tamori Y, Baba K, Yamanaka Y. Effects of different light incident angles via a head-mounted device on the magnitude of nocturnal melatonin suppression in healthy young subjects. *Sleep Biol Rhythms* 2022;20(2):247.

VII 謝辞

はじめに，終始暖かくご指導下さった指導教官の西多昌規准教授に深く感謝申し上げます。大学院への進学以降，西多先生の熱心なご指導があり，この度修士論文を執筆することができました。心より御礼申し上げます。

また，副査を快くお受け下さった正木宏明教授，藤田善也准教授にこの場を借りて感謝申し上げます。

さらに，本研究を始動するにあたり多くの助言をして下さった現金沢星稜大学の塩田耕平先生，西多研究室OBの村田優介さんに深く感謝いたします。

最後に，被験者として実験にご協力いただいた皆さま，ならびに研究室内の様々な場面で有意義な意見交換をして下さった西多研究室のYoun Sumiさん，市瀬敦士さん，Jian Yutongさん，橋爪彩さん，西井拓さんに感謝いたします。

令和5年1月12日

須山 崇太郎

付録

Bright・Con

[DAY0 AM ・ DAY0 PM ・ DAY7 AM ・ DAY7 PM]

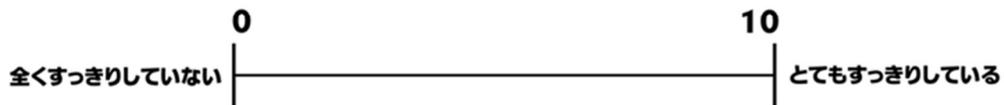
日付/ 年 月 日 ID _____
氏名 _____

時間	:
室温	°C
湿度	%

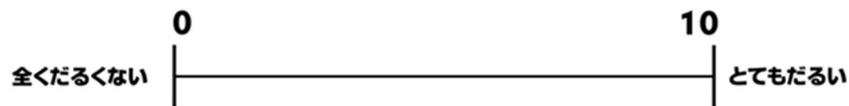
Q. 現在の「眠気」の程度はどれくらいですか。



Q. 現在、どれくらい「すっきり」していますか。



Q. 現在の「全身のだるさ」の程度はどれくらいですか。



Q. 現在、気分はどれくらい「明るい」ですか。



Q. 現在の「上半身のだるさ」の程度はどれくらいですか。



Q. 現在の「下半身のだるさ」の程度はどれくらいですか。

