

April Special

睡眠と パフォーマンス



運動、栄養とともに身体づくりの三要素の1つである睡眠。スポーツだけでなく日々の生活にも影響する。田原氏には、朝型・夜型といった身近な話から、時計遺伝子の仕組み、刺激を入れた際の反応までお話しいただいた。そして星川氏には、時差調整をどのように行うか、腕時計型測定器の活用、光だけでなく食事摂取、メラトニン受容体アゴニストなどを組み合わせた方法を聞いた。普段の規則正しい生活の重要性が改めてわかるとともに、体内時計を整えやすい社会の実現が望まれる。

1 体内時計は何をどのように制御しているか 田原 優 P.2

2 時差調整に向けたアドバイス 星川雅子 P.9

1

睡眠とパフォーマンス

体内時計は何をどのように制御しているか

田原 優

早稲田大学先進理工学部 電気・情報生命工学科 准教授、博士（理学）

朝型・夜型

一般の方に「体内時計」の話をする機会があります。そのようなとき、海外旅行にいくと時差ボケが起こります、夜勤が続くと病気の原因になることがあります、といった話をしてなかなか理解しにくいようです。興味をもたれやすいトピックとしては、「私は朝型ですか、夜型ですか」のように聞かれることがあります。そこから話を始めます。

朝型・夜型というのはクロノタイプと呼ばれます。このクロノタイプを調べる方法があります。仕事のない日、つまり休日の、就寝時刻と起床時刻のちょうど真ん中の時刻（中間時刻）を知ることです（図1）。普段寝ている時間が全体的に朝のほうに偏っている、具体的には中間時刻が4時の方が朝型となります。夜ふかし気味の

場合が夜型、となります。そこで夜型の人には不利だと話します。なぜ不利になるかというと、朝型の人は午前中のほうが元気で、夜型の方は夜のほうが元気で、集中力もあります。夜型では寝るのが遅くなりがちですが、朝起きて学校や会社に行かなくてはなりません。そうなるとくに平日に睡眠負債（睡眠不足）が蓄積されていきます。

なお、睡眠と体内時計は、研究テーマとしては少し異なります。徹夜をしても、朝になってくると元気になってくる場合、これは体内時計によって制御されているものです。逆に、砂時計のように蓄積されるのが睡眠圧で、ある閾値に達すると睡眠を促し、その睡眠が十分でないで睡眠負債として蓄積していきます。体内時計も、眠りに入るタイミングを教えてくれますが、睡眠そのものを司っている別のシステムがあり、それらが相互作用していると考えられています。これを睡眠の2プロセスモデルと呼びます。

社会的な生活のリズムに、体内時計が



田原 優（たはら・ゆう）先生

合っていない場合、十分な睡眠時間が取れない日が続くことがあります。これを補うために休日に睡眠をたくさん取る人もいます。さらに、土日が休日の場合、金曜日に夜ふかしをして土日に寝だめをして遅く起きるとなると、平日と休日で生活リズムに時差が生じ、まるで時差のあるところへ旅行に行くのと同じことになってしまいます。休日のたびに夜ふかしと遅い起床をすると、毎週、時差ボケを起こしていることになります。これを社会的時差ボケと呼びます。私たちにとって身近にみられる体内時計の乱れの例であり、とくに夜型の人によく見られる現象です（図2、図3）。

以前は、夜勤は身体によくないという認識はありましたが、ここ15年くらいで遺伝子研究も進み、社会的時差ボケについてもよくわかってきました。

年代別に見ていくと、若い人では社会的時差ボケがより大きいです。時差が大きいほど肥満になりやすくなったり、成績が悪くなりやすいという報告が出ていて、クロノタイプが夜型の人たちはかわいそうな状

クロノタイプ（朝型、夜型、中間型）のチェック方法

- ① 休日の睡眠時刻（就寝してから起床まで）を調べる
- ② 睡眠の中間時刻を調べる（就寝時刻と起床時刻の中間の時刻）
- ③ 年代ごとの中間時刻から、朝型、中間型、夜型のどこに当てはまるかを確認する

年代ごとの中間時刻

年齢	朝型	中間型	夜型
20代	<4時	<4-5時	5時<
30代	<3.5時	<3.5-4.5時	4.5時<
40-50代	<3時	<3-4時	4時<
60代以降	<2.5時	<2.5-3.5時	3.5時<

図1

夜型の人になりやすい社会的時差ボケ (Social Jetlag)
時差ボケが大きい人ほど太りやすい!!

クロノタイプと社会的ジェットラグ

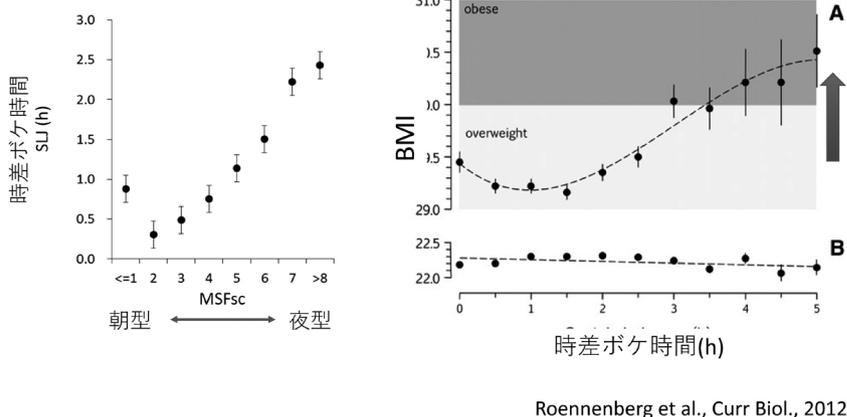


図 2

夜型の人になりやすい社会的時差ボケ (Social Jetlag)

計算方法

- ・平日と休日の睡眠中央時刻の差を計算する。

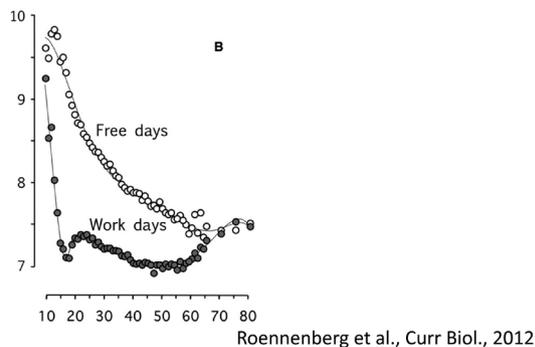


図 3

シフトワーカーでも、
夜型の方は夕方～夜中勤務、
朝型の方は朝～夕方勤務にするとい

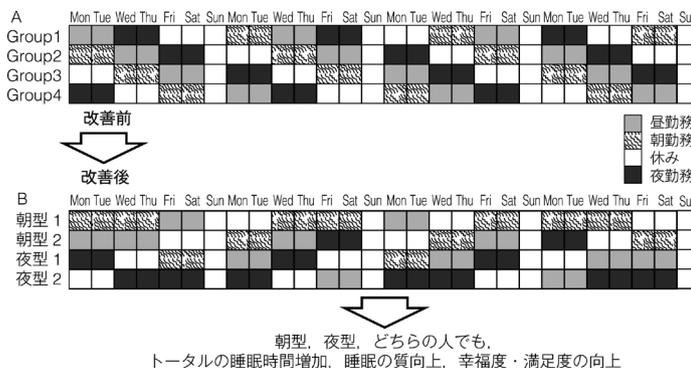


図 4

況です。

年代別に中間時刻の平均値をみていくと、若い人では後退していて、生活が夜ふかし朝寝坊になっている傾向がわかります。この年齢による変化がなぜ起こるのかはよくわかっていませんが、学校、仕事、結婚など社会的な要因も影響していると考えられます。しかし、クロノタイプは遺伝的に決まりますので、この全体的な夜ふかし傾向の中にあっても、朝型、夜型、中間型の人があります。ちなみに朝型遺伝子として、SNP (一塩基多型) が300個ほどみつかっています。

夜型の人にとってはフレックス制での勤務がよいのではないかという話や、シフトワークであれば朝型の方は昼勤多め、夜型の方は夜勤多めがよいと言われています(図4)。学校の始業時刻を遅らせると成績が上がったという研究結果もあります。

体内時計を調節する

体内時計をずらすという場合、遅らせるほうが楽で、早めるほうが難しいという特徴もあります(図5)。海外旅行に行くのであれば、西回り(欧州方向)のほうが楽で、東回り(米国方向)のほうが大変です。体内時計を前進させるのは1日あたり1時間程度、後退させるのは1日あたり2~3時間ほど可能ということが言われています。

光は、体内時計に影響を及ぼす大きな因子となります。光にはさまざまな波長が含まれますが、とくに青い波長の光が、網膜の光受容体に入り、体内時計に影響を及ぼします。スマートフォンやテレビの画面を長時間見ていることはブルーライトを含む光が目に入り、体内時計を光で調節しているのと同じことになります。体内時計の研究では、実験動物に光による影響を与えないようにするために、夜中の実験中は赤色ランプ下で行うことがあります。

体内時計には、栄養摂取のタイミングも影響を及ぼします。夜遅い時間に食べると、体内時計が遅れ、夜型化しがちになる

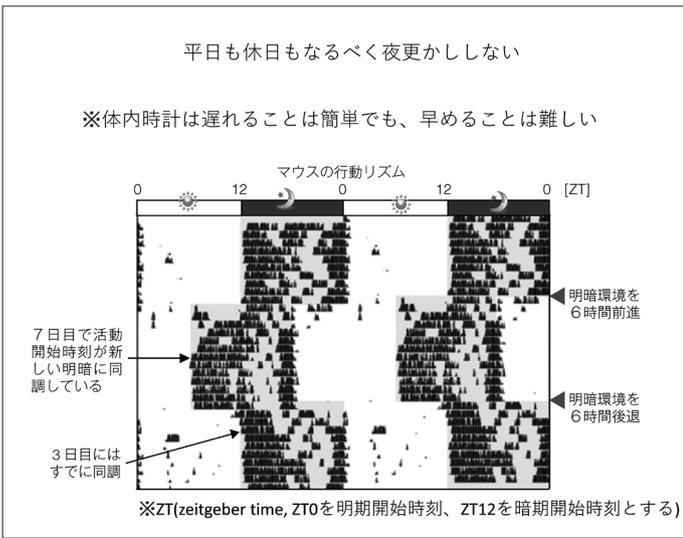


図 5

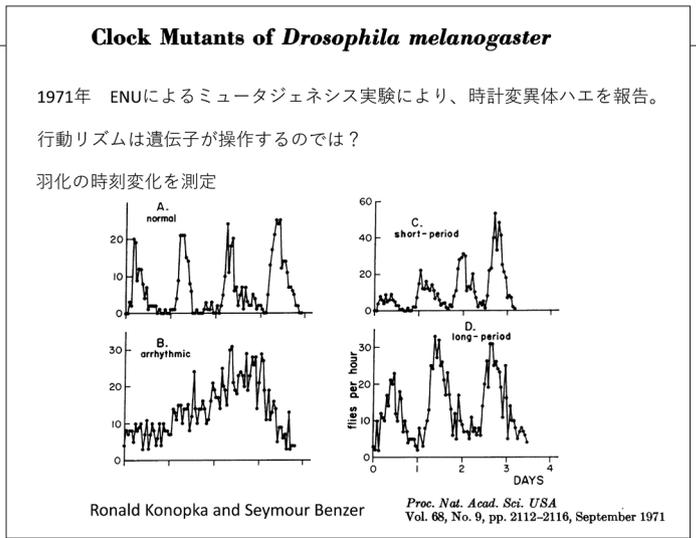


図 6

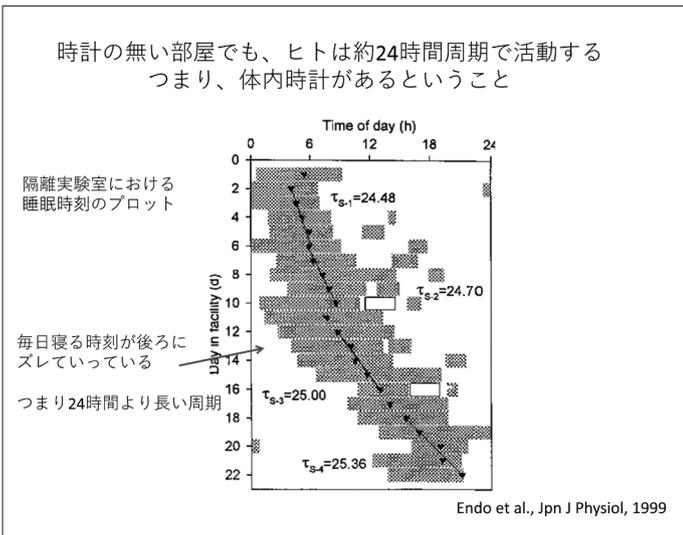


図 7

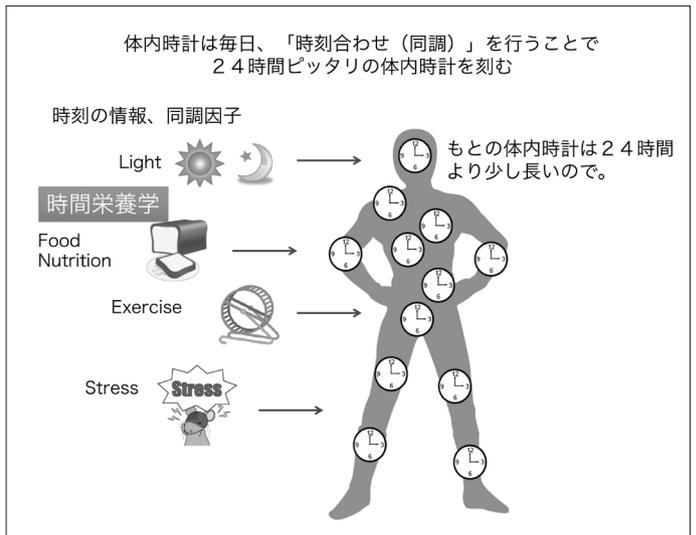


図 8

ので注意が必要です。

時計遺伝子の発見

それでは、体内時計の詳しい話へと進んでいきましょう。

時計遺伝子についての研究が進んだのが

1970年代です。当時は遺伝子が行動を制御しているとは考えられていなかった時代です。ハエを対象としてさまざまな遺伝子に変異を入れていったところ、リズムがおかしくなるハエが出てきて、時計遺伝子の発見につながったのです(図6)。この遺

伝子は、ピリオド (Period)、つまり周期にちなんで Per 遺伝子と名付けられました。その後、哺乳類でも同様の時計遺伝子が見つかったことで、時計遺伝子ノックアウトマウスが肥満になったり寿命が短いということがわかり、その重要性が認識されるようになりました。それらと並行して、ヒトで夜勤が身体に及ぼす影響についても研究されるようになりました。時計遺伝子が病気などに関係していることがわかってきたことから、「概日リズムを制御する分子メカニズムの発見」でノーベル医学・生理学賞が授与されました(2017年)。

私たち人間は、時刻を知ることでできない環境(時計や照明の変化のない、洞窟や研究用の部屋)に入って生活していると、24時間周期よりも少し長い周期で生活す

■夜間の授乳時に赤色ランプを

赤ちゃんが夜中に目覚めて授乳することは、新生児・乳児のいるご家庭ではよくあることです。新生児に睡眠リズムが生まれるのは生後3カ月くらいからと言われています。私の家でも子どもが生まれ、体内時計を研究していることもあって、夜に電灯をつける際には赤い光のみにすることにしました。昼間は日光や照明により明るく、夜は暗

いという環境にすることで、子どもは比較的早い時期に夜に長時間眠るようになり、大人もまとまった睡眠時間が取れるようになりました。ただし、必ずしもすべての赤ちゃんでうまくいくわけではないようです。

赤いLEDは安く入手できますし、照明に赤いフィルターをつけるだけでも青い波長の光を低減する効果があります。

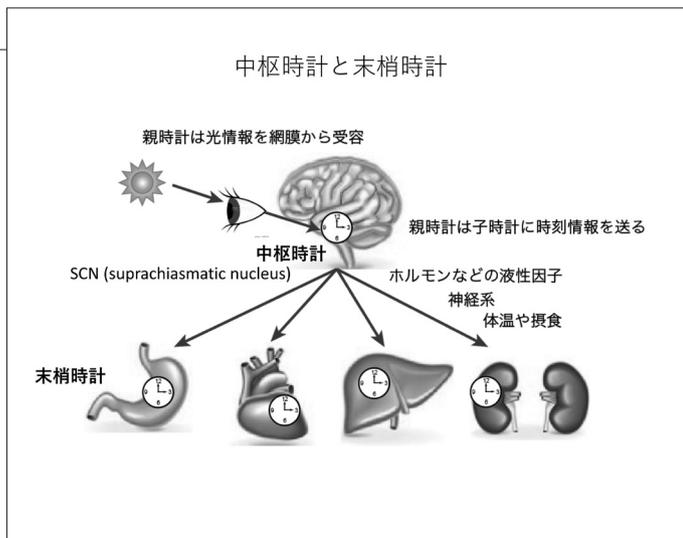


図 9

るようになります (図7)。24.5時間とも、24.1時間とも言われていて、だんだんと遅れるようになっていきます。またこのことは、多少長いにしても、約24時間で生活できる、つまり体内時計を持っているということが証明されたことになります。

体内時計は遺伝子として存在することから、すべての細胞に体内時計があるということになります。全身のあらゆる臓器、細胞に体内時計があるイメージです (図8)。

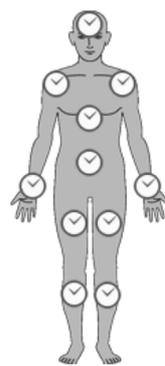
さらに、それら全身の時計に時刻を伝えている中枢が脳にあることもわかりました (図9)。マウスの実験で、この中枢の時計を電気や熱で破壊すると、そのマウスは30分おきに寝たり起きたりを繰り返すようになります。

体内時計にずれが生じると、どのような問題が起こるのでしょうか。マウスを対象とした実験があります。飼育室の照明を普段より6時間早めて与えたところ、脳の時計は早く反応しますが、末梢臓器にある時計は数日遅れて反応します。この中枢と末梢のずれが時差ボケの状態であり、これが長く続くと肥満・高血圧などの生活習慣病に繋がり、最終的には寿命も短くなります。

時計の本質は遺伝子で規定されている時計遺伝子であり、24時間周期の遺伝子発現によってRNAやタンパク質、機能などに周期的な変化が起こることなのです。それを数学的に表すとサインカーブを描きます。大事なのはピークの時刻があ

体内時計とは...

- ・体内のあらゆる細胞に体内時計は存在する。
- ・脳に中枢時計がある。
- ・体内時計の本体は「時計遺伝子」である。



個々の細胞内では...
時計遺伝子が、約24時間のリズムを持って増えたり減ったりしている。

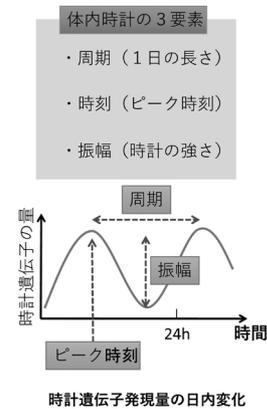


図 10

り、振幅があり、さらに約24時間の周期があるということです。このピーク時刻が、体内時計でいう「今何時」という時刻です。私たちは、振幅が「メリハリ」を示す指標ではないかと考えています (図10)。時計のないマウスでは振幅が小さくなります。

基本的な仕組み

時計遺伝子にはいくつかの種類があります。Per 遺伝子を例にとると、DNAのスイッチが入ると、PERタンパク質が増え、増えたPERタンパク質はのちに自身のDNAスイッチを抑制します。そうすると抑制がかかってタンパク質合成が止まります。このようなネガティブフィードバックが、24時間のリズムを作る基本的な仕組みになります (図11)。単純ではありますが、生物における周期的振動はこのような形での制御が行われていることがよくみられます。

これを基本形として、分解するタンパク質が存在したり、別のループがあるなど、全体として複雑になります。「時計遺伝子はいくつありますか?」と聞かれると「よくわかりません。20くらい、あるいは50くらいあるのではないかと答えることになります。コアとなるループと、それ以外のループがあり、それぞれが機能を果たしていることが、いくつかの遺伝子を個々に調べることで確かめられてきました。コアの遺伝子群は、哺乳類では

Bmal1、Clock、Per、Cryとなります。いずれにしても、毎回24時間を刻めるような時計がすべての細胞に備わっているということになります。

また、Bmal1、Clock 遺伝子は、時計遺伝子以外のさまざまな遺伝子に日内リズムを作り出します。それにより代謝に関わる機能など、さまざまな臓器がさまざまな生理機能に対して日内リズムが生まれます。活動してほしいときに活動し、休んでほしいときに休むことが期待されますが、体内で時差ボケが起きているということは、その活動のタイミングもずれてしまうこととなります。

体内時計をどのように調整するか

体内時計を調節するには、3つの重要なファクターがあります。光、食事、運動 (またはストレス) です。運動とストレスは同じメカニズムで体内時計を制御し、アドレナリンとコルチゾールが関係します。この2つのホルモンは受容体を介して時計遺伝子のスイッチを入れます。とくに早朝のタイミングで運動をすることによって全身の体内時計を朝型 (早める) に調節することができます。先ほど、ヒトの体内時計は24時間より少し長い周期であるということをお話しましたが、それはつまり毎日体内時計を前倒しにする必要があります。そのタイミングは、朝がベストです。朝日、朝ご飯、朝の運動は、体内時計を早める効果をもたらします。その逆で、夜遅く

2

睡眠とパフォーマンス

時差調整に向けたアドバイス

星川雅子

国立スポーツ科学センター スポーツ研究部
先任研究員、博士（体育学）

睡眠時間の確保への意識

睡眠は大切です。このことはたくさんの方々が伝えてくださっているのですが、多くのスポーツ選手の間でも、知識としては頭に入っていると思います。寝不足になったときに身体の動きが悪くなるというのは体感として気づいているので、睡眠が大切であるということはわかっていると思います。理解しているけれども、十分な睡眠時間を確保するという行動に結びつけられる選手と、できていない選手がいるのだと思います。

毎日のことなので、本人がやろうと思ってくださらないと、無理にやってももらってもなかなか続きません。本人が変えようと思って取り組んでもらえるかどうか、一番重要なところなんです。

何かのきっかけで、やってみたら案外できたということもあります。当施設でもやってみてもらったときに、方法を3つほどお示ししておくと、そのうち1つは「これからも続けたいと思います」という言葉をいただくことがあります。そのように続けてもらえるといいかなと思います。まずやってみて続けられると感じたことを続けてもらいます。もし続けるのは難しいな、と感じるような場合には、私のほうでもそれは方法として採用しないことにしています。取り組み自体も2週間くらいにして、「続けられる」「続けることが難しい」と判断しやすくしています。

腕時計型の測定装置

実際に睡眠が取れているかどうかを調べるためには、私たちは腕時計型アクチグラフ（加速度センサーで活動量を知ることができる）を装着してもらい、モニターします。当センターで使っているのは市販のものではなく、照度計が組み合わさっており、部屋が明るいかどうか（部屋の照明が点灯・消灯のどちらか）を知ることもできます。

さらに押ボタンでマークを入れることもできるので、「今から寝ます」というタイミングでボタンを押してもらいます。最初のうちは動いていても、ある瞬間に動きが止まり、ここで寝たんだなということが確認できます。寝ている間に寝返りを打ったりして時々動きがありますが、朝になって起床したらまたボタンを押してもらいます。いつ暗くなったか（照明がいつ消えたか）が情報として入っていないと、ベッドの上でゆったりと過ごしている時間が睡眠として判定されてしまうことがありますので、マークを入れてもらったり照度計のデータも入るようにしています。

マークを入れてもらうのは、本人の意図を知るうえで有用です。部屋が暗くなって、寝るつもりだとしても、動きがあれば眠れていなかったということもわかります。これらを組み合わせることで、より正確に睡眠の様子を把握することができます。

世界的によく使われている測定機器なので、ベッドの中にいる時間の何割くらい眠れていればよい、というイメージが研究者の間で共有されているようなので、それで進めています。睡眠の質についても、脳波での測定には及びませんが、それで推測し



星川雅子（ほしかわ・まさこ）先生

ています。睡眠中に身体の動きが少なく、静かにしている時間が長いほうがよい睡眠であると考えます。もちろん脳波でみていくのが正確であると思いますが、脳波測定を毎晩行うのは現実的ではありませんし、本人がストレスなくできるものにと考えるとこのような時計型の測定装置を使うのが一般的な選択となります。

最近ではベッドのマットレスの下に設置するシートタイプのセンサーもあります。JISS内の宿泊施設で睡眠を測定するときには、このシートタイプの測定装置を使うこともあります。

時差調整

時差の調整を行う場合、西へ行く場合（ヨーロッパ大陸など）と東（南北アメリカ大陸など）へ行く場合で異なる調整のしかたをします。また東へ行くほうが、1日当たりにシフトするからだのリズムの幅が小さいといわれています。

この調整方法が間違っていることが往々にしてあります。たとえば、東に行くのに

夜ふかしをして調整するという間違いがみられます。東に行くときは「早寝早起き」がよいのです。時差12時間を境にして、18時間遅らせるよりは、6時間早めたほうがよいのです。逆に西に行くときは「夜ふかし朝寝坊」がよいのです。西と東で対応が逆になるのですが、海外に行く前に夜ふかしをしてしまうことが割とあり、東に行くのに夜更かしをすとかえって適応に時間がかかることになります。

ヨーロッパくらいだと、競技選手の皆さんは慣れているようで、あまり相談を受けることはありません。東へ行く場合や時差が12時間の場合など、過去にうまく時差に対応できなかった経験がある場合や、時差が大きい場合に問い合わせをいただくことがあります。

時差調整がうまくいっているかどうかを確認する方法は、研究的には、深部温の変化が目安になります。あるいはメラトニンというホルモンの変化（唾液または血液中濃度）を見ることでわかります。しかし、競技選手は大会に出て戦うために移動するわけですから、それらの測定を行うことはストレスにもなります。なので、実際に深部温やメラトニン濃度を測ることはしていません。昼間は試合のことだけ考えていたいというのがあると思うので、質問紙で主観的な体調を聞いたり、寝るときだけなら、と腕時計型の測定装置をつけて測定したりしています。時差調整をした場合としなかった場合で、どのくらい睡眠が取れるようになったかを聞いて、うまくいけばよかった、ということで進めています。

食事摂取と明るさ

食事をいつ摂るか、そして光をいつ浴びるかは身体のリズムを調整する重要なファクターです。時差調整についてアドバイスするときにも伝えるようにしています。食事については、現地の食事のタイミングで食べることをお勧めしています。飛行機の中で何時くらいに寝て、いつ食べて、ということを変えたり、状況によりサングラス

をしたほうがよいということがあります。アメリカに行く場合、早朝に現地に着くこともあると思います。朝6時に光を浴びたりすると、中枢時計のリズムを遅らせる（望ましくない方へシフトさせてしまう）ため、サングラスをかけることを勧めたりします。

一方で、時間帯によつては光を浴びたほうがよいこともありますので、飛行機の時間帯や大会の開始時間を聞いて、このスケジュールならサングラスを使って、あるいは逆にサングラスや帽子は取って光を浴びたほうが調整しやすいと伝えています。朝の光なら浴びたほうがよいというのではなく、光を浴びたほうがよいときとそうでないときがあるというのを知っておくことが大切です。つまり適した時間に光を浴びることです。

24時間のリズムの中で体温が一番低くなった時間帯から1～2時間くらい後に光を浴びると、東のほうにずれますし、一番低いところから1～2時間よりも前に光を浴びると西のほうにずれることになります。その体温のリズムは、日本にいるときのリズムを引きずっていきますので、飛行機の中で一泊して、現地に着いたときにどうなっているかを推測して、光を浴びたほうがよいのかそうでないかを考えます。時差調整を日本でやって3時間くらいずらすことができていると考えられるときは、そのときのリズム（体温が低い時間帯がいつなのか）を推測して対応を考えます。

選手やコーチの方々から相談をいただくのは、基本的なことというよりは対応が難しいケースだったりします。たとえば海外で時差がある上に試合の開始時刻が深夜と

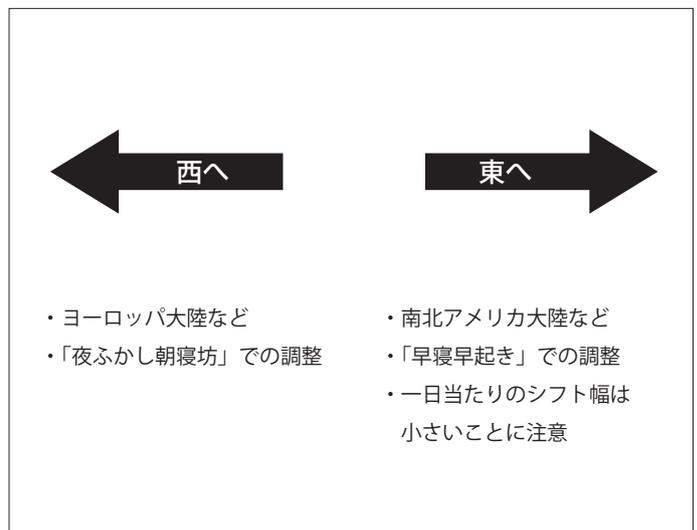


図1

いうケースなどです。理論的に調整法を考えますが、その調整を行って望む方向へと身体が反応してくれるかどうかを考えなければなりません。特定の大会を想定していない一般的な講習会で説明するときには、現地の生活に合わせるところまで、たとえば朝9時くらいに試合が始まるという前提で話をします。海外かつ深夜に試合開始というようなことは特別です。こういう応用問題については、これとこれをやって、余裕があればこれもやるとよい、というように話し、自分のやりやすい方法に落とし込んでいただいています。できれば、大きな試合でいきなり時差対策をやるというよりは、機会を見つけて事前に調整を試してみるのがよいと思います。

日数があつたほうが時差調整は楽です。例えばアメリカ遠征で8時間の時差を調整しなければならないとします。事前に3時間をずらしておけば、現地では5時間の調整ですみますので楽です。試合で本来のパフォーマンスを発揮しやすくなるはずです。

相談を受けた際には、世界のどこへ行くのか、フライトのスケジュール、また試合の時間帯についてお聞きするほか、時差調整にどのくらいの日数をかけられるかも聞いています。事前にJISSで何泊かしてから全員で出発するチームもあれば、出発日