

5 スケート競技スピードスケート

前 嶋 孝

1. スピードスケートの競技特性と高地

高地では、有酸素的能力が重要となる競技種目において記録が低下します。しかし、そのような環境で一定期間トレーニングすることによって、マラソン、スキーおよび水泳などの競技力の向上が認められています。一方、高地になればなるほど、空気抵抗が減少します。したがって、陸上の100mから400m、自転車などは外的仕事量が減少し、むしろ高地のほうがよい記録が出ることとなります。スピードスケートにおいても、時速40kmから50kmを超えるスピードで競われる種目ですから、空気抵抗が競技成績に大きく影響します。スピードスケート競技は、滑走中の外的エネルギーの70%以上が空気抵抗のために使われるといわれていますので、酸素分圧の低いことによるエネルギー出力の低下より、空気抵抗の小さいことの方が、記録を生む大きな要素となるのです。

そこで、高地でのスケート滑走中における生理的応答をみるとおよそ次のようになります。

図1は、ダボス（標高1,560m）およびインスブルック（標高570m）で行われたスピードスケートワールドカップ大会の5,000mに出場した3選手におけるレース中の心拍数、レース後の血中乳酸濃度およびラップタイムを示しています。

5,000mレース中の心拍数はインスブルックよりもダボスにおいて全体を通して8～10拍/分低い値となっています。高地に滞在していると、最高心拍数が低下することは先行研究において報告されています。また、レース3分後の血中乳酸濃度においてもインスブルックよりもダボスにおいて顕著に低い値を示しました。高地に馴化するとアルカリ予備が減少し、アシドーシスに対する抵抗力が低くなり、そのことが最大無氣的パワーの減少につながるということが示唆されています。ここにおいても、競技力には不利な条件です。しかし、5,000mのタイムは明らかに空気抵抗の少ないダボスの方が良い結果が出ました。スピードスケートにおける長距離選手の競技成績は、最大酸素摂取量と比較的高い相関関係にあります。無酸素的エネルギー出力も競技力の重要な要素となることは先行研究において明らかとなっています。高地では呼吸循環機能に大きな負荷がかかりますが、運動中呼吸が苦しい分だけ平地と同じ質の高いトレーニングはできないというデメリットがあります。さらに、空気抵抗の違いは滑走技術にも影響します。

高地は、スピードスケート選手の呼吸循環機能および筋の緩衝能力を高めるため、および、ハイスピードでの滑走技術習得のために利用し、空気抵抗に打ち勝つ滑走技術、あるいは、最大無氣的パワー向上のためには平地でのトレーニングが必要となります。

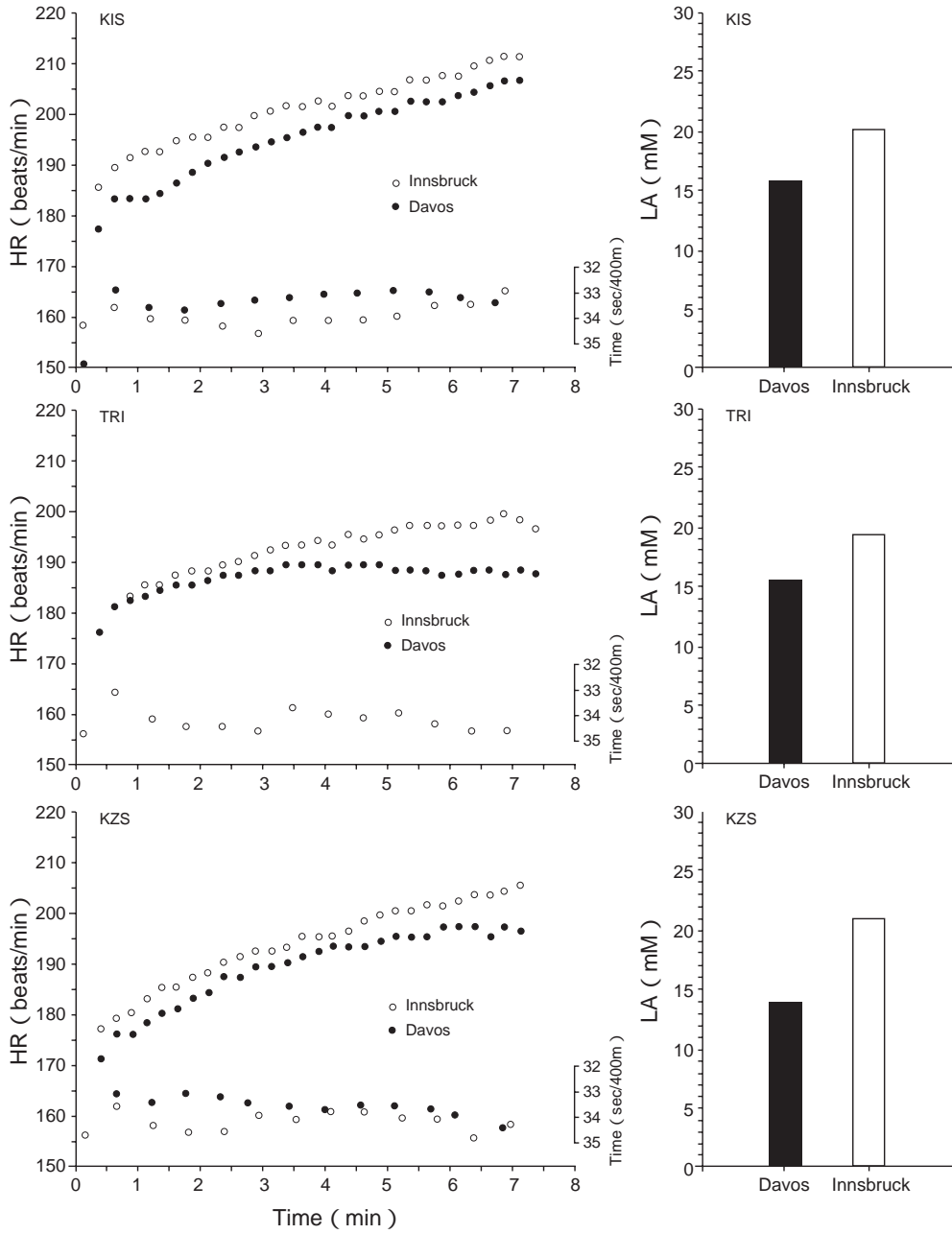


図1 5,000mレース中の心拍数およびレース後の血中乳酸濃度

2. 高地滞在における生理的応答

一般に、酸素分圧が低くなると動脈血酸素飽和度 (SaO_2 、 SpO_2) が低下し、そのことが大動脈体と頸動脈体を刺激し、換気量が増大します。これは過換気により、肺胞内酸素分圧を上昇させ、酸素分圧の低下から組織を守る反応です。そのような反応は、高度2,000m程度から生ずるといわれています。このような高地では、睡眠中、寝不足時あるいは疲労などによって SpO_2 が低下します。さらに、高地での運動強度が高くなればなるほど SpO_2 の低下は著しくなります。

SpO_2 の低下は、大気圧の低下、酸素濃度の低下といった環境要因と肺胞換気量の低下あるいは肺胞におけるガス交換障害などといった要因によっています。

また、低酸素環境に暴露されると心拍出量が増加し、低酸素による動脈血中の酸素の減少を補おうとする反応があります。ただし、このとき、一回拍出量は変化しないので、心拍出量の増加は心拍数の増加によっています。すなわち、高地滞在初期では、起床時安静心拍数は増加しますが、それは高地馴化に伴って徐々に低下し、トレーニングによって疲労してくるとこの値は高くなります。さらに、心拍数は起床時の体調、精神的変化などによっても変動します。

以上のことから、高地において選手の体調が良好なときは、安静時の SpO_2 は高く、心拍数は低いことが予想されます。疲労などにより体調が崩れれば、それぞれが逆方向に変化します。

3. 高地トレーニングに適した標高と運動強度

著者は、前述した、ダボスでの研究結果を考慮し、長野オリンピックのための高地トレーニングとして、菅平（標高1,300m）に滞在し、氷上トレーニングは長野（標高340m）で実施する方法（高地滞在 - 平地トレーニング）を試みるとともに、高地トレーニングとしてよく利用されているフラッグスタッフ（アメリカ/アリゾナ州：標高2,150m）およびパークシティ（アメリカ/ユタ州：標高2,200m）においてスピードスケート全日本チームの高地トレーニングに帯同し、トレーニングに伴う生理的変化を調べました。

その結果、多くの選手にとって高地トレーニングは標高約2,000mが適当ですが、標高1,300mでも効果が得られました。ただし、いずれにしても、その利用法には工夫を要することが分かりました。それは、以下のような高地トレーニング医学サポートにおけるデータに基づいています。

(1) 菅平（標高1,300m）合宿の結果

合宿におけるトレーニングの日課は、朝食後8時に菅平から長野に移動し、午前中は長野スケートセンターにおいて氷上トレーニングを行い、氷上トレーニング終了後直ちに菅平に戻り、昼食後は3時から約2時間、菅平において陸上トレーニングが行うというものでした。結局、1日の菅平での滞在時間は、約19時間40分、標高340mの長野スケートセンターにおいて3時間であり、残りの1時間20分は移動時

間です。このように、一日のうちに高地と平地の両方を利用したトレーニングを2週間行うことによって、以下のような結果が得られました。

なお、この合宿に参加した選手は、長野オリンピック内定選手1名、長野オリンピック強化選手3名および学生選手権出場レベル3名の計7名でした。

1) 起床時のSpO₂と体調

菅平滞在中、SpO₂は平地より低下しますが、その程度は1%～5%と大きな個人差がありました。例えば、選手BのSpO₂は一時期93%まで、また選手CおよびFにおいても約94%まで低下しているのに対して、選手Aは菅平滞在1週間目までは平地とほとんど変わらない高いSpO₂値を示しています。そして、ほとんどの選手が菅平と長野を利用したトレーニングの経過に伴ってSpO₂は1～2%低下しました(図2)。また、この程度の低下でも選手達は、菅平滞在の前半において、陸上トレーニング中、呼吸の苦しさを訴えます。SpO₂は標高が高いほど低い値を示し、高地に順応することによって平地の値の方向に近づくとされていますが、菅平に2週間滞在している間にその傾向はみられませんでした。

2週間のトレーニングを終え、菅平から長野に下山した翌日の起床SpO₂をみると、7名中3名の選手がほぼ98%と平地における標準的な値にまで戻ったのに対して、他の4名は下山後においても依然として低いSpO₂値を推移しています。特に、菅平滞在中最も低いSpO₂値を示した選手Bについては下山から1日たっても95.4%、1週間後でも96.2%と低い値でした。

SpO₂は登山において疲労の尺度としても用いられていますが、上述の合宿におけるSpO₂の低下はトレーニングによる疲労の回復が遅れがちであったことが考えられます。

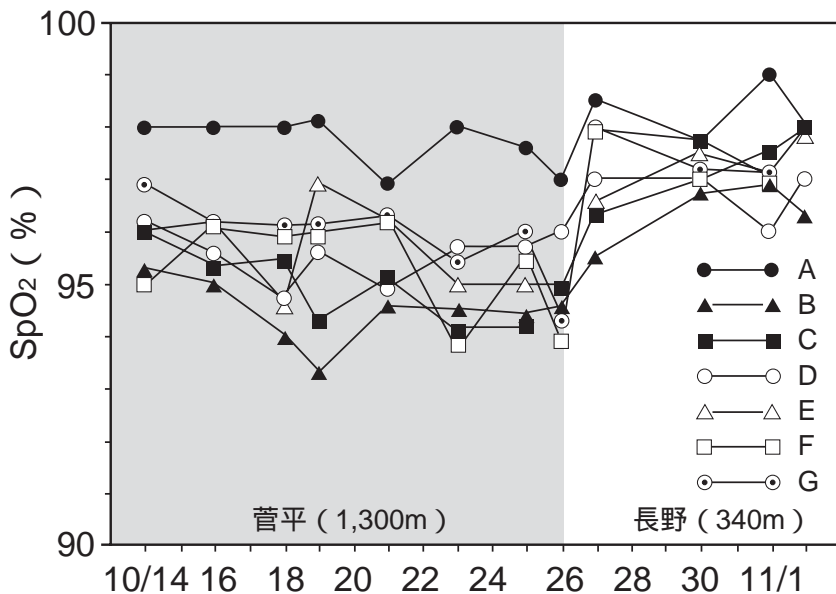


図2 菅平(標高1,300m)および長野(標高340m)における起床時のSpO₂

2) 自転車エルゴメータ全力こぎによる平均パワーの変化

菅平滞在1週間目の自転車エルゴメータによる測定を合宿前値と比べると、トレーニング前値より平均パワーの向上が認められた選手が2名、トレーニング前値とほとんど変わらないが、やや低下傾向を示した選手が3名、そして2名の選手が極端に低下しました。しかし、菅平滞在2週間目では、1名を除くすべての選手の平均パワーがトレーニング前値を上回りました。特に、菅平滞在2週間目において選手Eの平均パワーはトレーニング前値より140 wattsも増加しました。選手Eは、日頃から、平地において同一の負荷方法での測定を繰り返していましたが、これまで大きな体調の変化があったとしても平均パワーが50 watts以上も変化することは少なかったことから考えても、この平均パワーの大幅な増加は準高地を利用したトレーニングによる効果とよいと思います。

3) 下山1週間後

菅平滞在によるトレーニング効果の持続性を確かめるため、下山1週間後に試合があるという想定のもとで自転車エルゴメータによる全力こぎの測定を実施しました。

その結果、1名を除くほとんどすべての選手が、下山直後の値と下山1週間後の平均パワー値がほぼ同じであり、2週間の準高地を利用したトレーニングの効果が平地において少なくとも1週間は持続するという結果となりました(図3)。下山1週間後の平均パワーが大幅に低下した選手Eは、菅平合宿直後の測定において平均パワーが最も増加した選手でした。このような大幅な変化は単に高地滞在の効果が持続しなかったというより、むしろ、選手Eにとって準高地滞在中のトレーニングにおける疲労が蓄積、あるいは、下山後のトレーニング内容が問題になると思われます。

以上の結果から、例外はありますが、標高1,300m程度の準高地であってもperformanceを向上させる効果があり、また、その効果は少なくとも下山後1週間は持続することが分かりました。

4) 自転車エルゴメータテスト中の心拍数、RPEおよび血中乳酸濃度

標高1,300mの準高地を利用したトレーニングによって自転車エルゴメータによる最大努力での平均パワーは増加しました。この増加に生理学的裏付けが得られれば準高地滞在 - 平地トレーニングにおけるより確かな効果としてとらえることができます。

合宿前、中および後に実施した自転車エルゴメータテスト(測定は全て平地)では運動開始から3分目、6分目および最大努力直後の心拍数、RPEおよび血中乳酸濃度の変化を測定しました。

このテストにおける負荷は各個人がスピードスケートレース中とほぼ同じ主観的強度になるように自転車エルゴメータの負荷を設定しましたので、選手ごとに強度は異なっていますが、各選手にとっては常に同じ負荷方法で行っています。その結果、以下のことがわかりました。

運動負荷中の心拍数をみると運動開始から3分目では160~190拍/分、6分目に約180~210拍/

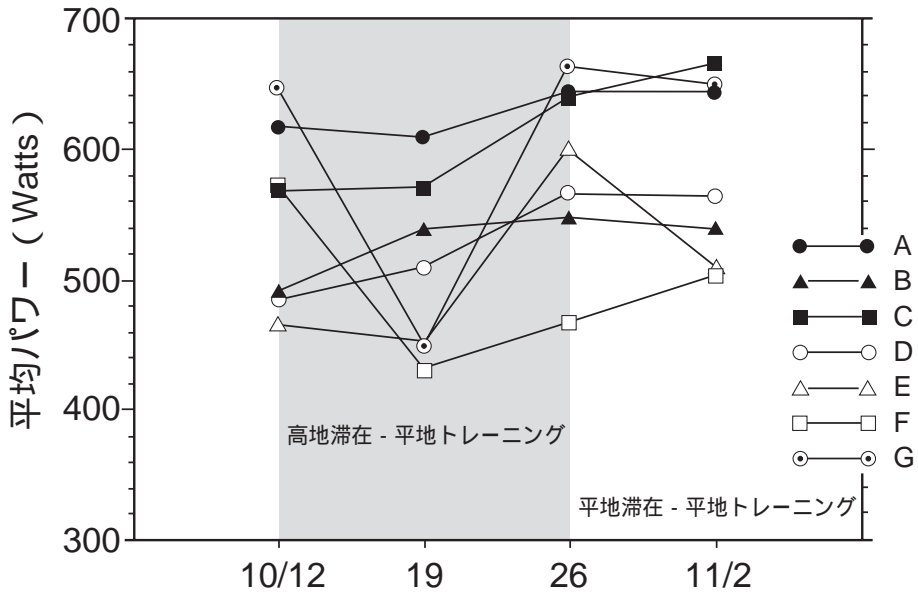


図3 準高地滞在 - 平地トレーニングに伴う自転車エルゴメータ全力こぎによる平均パワーの変化

分および最大運動中では185～215拍/分の範囲の負荷となりましたが、いずれの選手もトレーニングに伴う心拍数の顕著な変化は認められませんでした。

一方、自転車エルゴメータこぎ中の血中乳酸濃度をみると、運動開始6分目において菅平合宿前より徐々に低下する傾向が認められます(図4)。この傾向は、1,300mでの滞在とトレーニングが末梢の代謝系に変化をもたらしていることを示唆しているものと思われます。ただし、菅平に滞在したこと他に、この時期は陸上トレーニングから氷上トレーニングへの移行期であったためトレーニングの内容が変わり、集中的な氷上トレーニングが行われていることも考慮しなければならないと思われます。

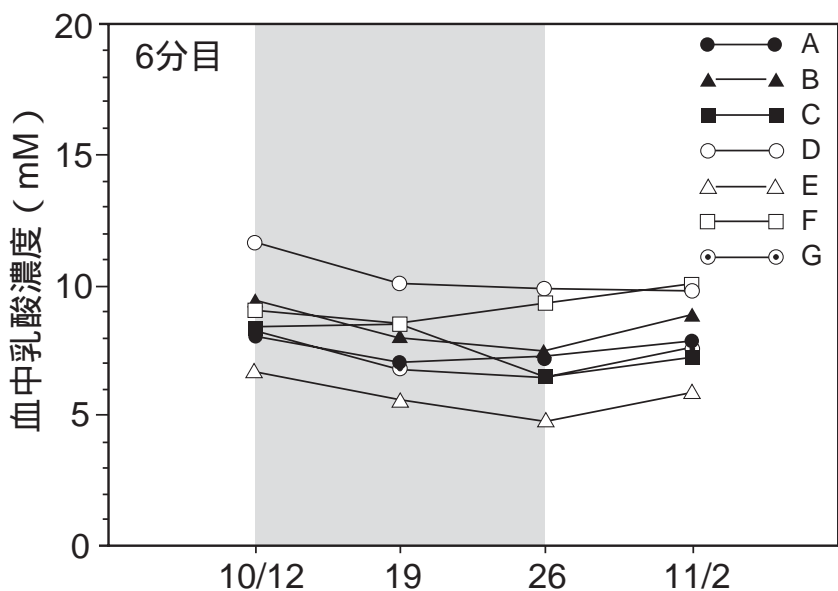


図4 準高地滞在 - 平地トレーニングに伴う自転車エルゴメータこぎ中の血中乳酸濃度の変化

(2) フラッグスタッフ (標高2,135m) 合宿の結果

ソルトレークシティ・オリンピックに向け、日本スケート連盟では1998年の夏季トレーニングよりスピード・スケート中・長距離選手を対象に高地トレーニングが導入されました。第1回目はアリゾナ州フラッグスタッフ(標高2,135m)において2週間実施しました。その結果次のことが分かりました。

高地に滞在していれば、安静時のSpO₂は徐々に高くなり、心拍数は徐々に低下するといわれていますが、フラッグスタッフ合宿ではトレーニングの経過に伴って、合宿全体の傾向としてはSpO₂が低下し、心拍数が増加しました。SpO₂/HRは、高地での呼吸機能と循環機能の両面を含んだ指数と考えることができますので、この指数の低下は身体的コンディションの低下を意味します。

フラッグスタッフにおける合宿計画は、2週間という期間の短さを考慮して、多少の疲労は残っても十分なトレーニング強度と量を行うという考えの基で実施されましたので、予想された結果となったわけです。むしろ、合宿中、高い血中乳酸濃度を示した登坂ダッシュ・トレーニングの翌日においても、また、自転車エルゴメータによる負荷テストにおいてほとんど全力に近い負荷までペダリングした選手でも、そのことによってSpO₂/HRが極端に低下することがなく、スピード・スケート選手にとって、比較的高強度の運動が高地において可能であることを示唆しているものと思われます。

また、運動に対する生理学的反応として、フラッグスタッフ合宿による同一運動負荷に対する血中乳酸

濃度の変化パターンを見ると、高地到着後増加し、高地トレーニングを継続することで低下し、そして、平地に戻るとその低下が増幅されるという傾向も認められました。また、自転車エルゴメータによる仕事量が増加しました。

さらに、この合宿の3週間後、カルガリー（標高1,000m）で行われたサマークラシック・スピード・スケート競技会において、選手の中には日本記録を更新するなど好記録を出す例もみられました。

高地合宿後における疲労回復の期間がどの程度必要であるかについての検討は重要です。各チームにおけるコーチの主観によれば、選手によってさまざまですが、高地から下山後、疲労回復のために1～2週間は必要であったようです。また、高地における適応能力に大きな個人差があったことも事実でした。

（3）パークシティー（標高2,200m）における起床時のSpO₂および心拍数によるサポート

パークシティー合宿に参加した全選手（女子5名、男子7名、合計12名）を対象に、到着翌日（7月8日）からパルスオキシメータ（ミノルタ製）を用いて毎朝の起床時座位安静状態のSpO₂および心拍数を測定しました。

パークシティーにおける安静時SpO₂に大きな個人差が認められたことは、菅平（標高1,300m）およびフラッグスタッフ（標高2,150m）と同じでした。

特に、男子PF選手は、合宿5日目には91.1%まで低下し、体調がすぐれない様子でしたが、高地滞在5日目に、ソルトレークシティー（1,400m）に下ってトレーニングを行った時、顔色もよく、本人からも体調が良くなったとの報告がありました。PF選手のパークシティーにおけるその後のSpO₂はほぼ94.0%を推移し、後半は95%まで増加しています。

また、PG選手のパークシティー滞在中の平均SpO₂は、94.4%でしたが、3日目と9日目には92%まで低下しています。彼はトレーニングにおいても、平地と比べて比較的軽い負荷で血中乳酸濃度が高くなること、および、軽い負荷でも疲れやすいことを訴えました。

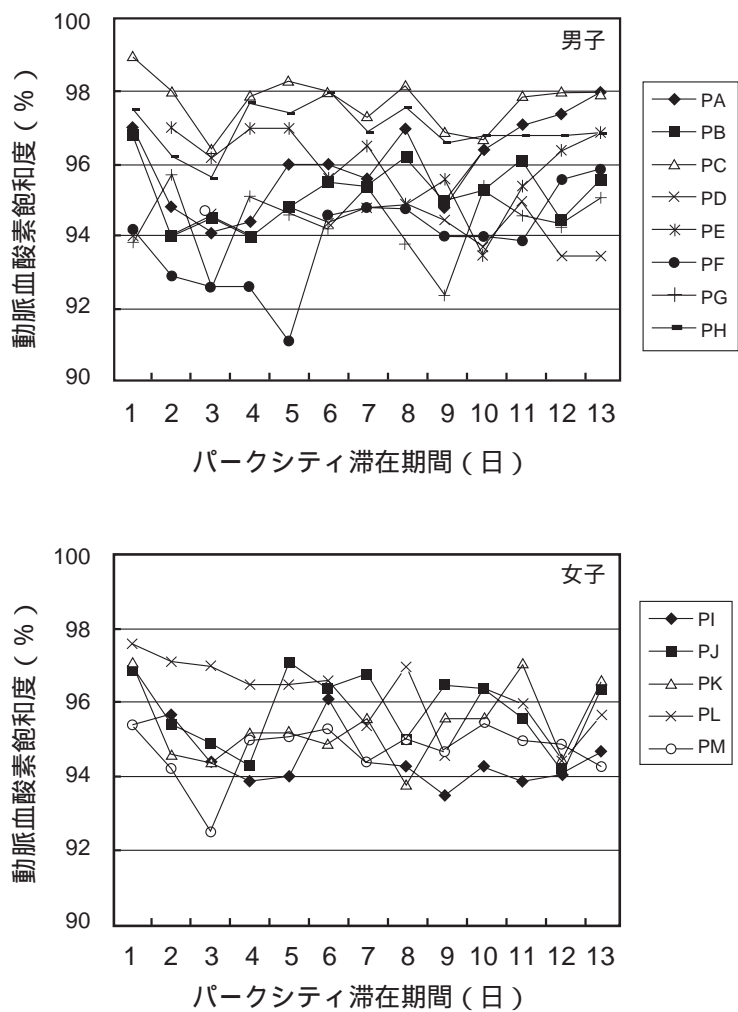


図5 パークシティ滞在中における安静時SpO₂の変化

パークシティー滞在中全体的に低いSpO₂を示したPI選手は、1年前に参加したフラッグスタッフ合宿と比べてSpO₂が1～2%低い値を推移しました。そして、自転車エルゴメータによる同一負荷に対する血中乳酸濃度が高く、自転車ロード中、比較的遅いスピードでも血中乳酸濃度が高い値を示す傾向にあったことなどから、いくつかのトレーニング種目はトレーニング中の血中乳酸濃度の測定によって、トレーニング強度が高くなりすぎないように配慮しました。それでもなおパークシティー滞在前半に95.7%以上あったSpO₂が後半には93.5%まで低下しました。このような場合は、高地トレーニングに入る前の体調が十分でなかったことや、強い負荷での筋持久力トレーニングが昨年より不足していなかったかなどが考えられます。

以上のように、パークシティー合宿中は、SpO₂、心拍数あるいは血中乳酸濃度を測定することによって、効果的でしかも失敗のないトレーニング法を模索しました。したがって、ある程度高い強度のトレーニングを負荷する日もありましたが、起床時のSpO₂の低下や心拍数の増加は疲労の回復の遅れと判断し、トレーニング中の血中乳酸濃度を設定することにより無理をし過ぎないようにアドバイスを行いました。結果的に科学的チェックによるトレーニング管理によって、トレーニング内容は、比較的軽度の有酸素的運動が多くなりました。スピードスケート選手の体力的特性を考えれば、当然、不十分な運動負荷です。高地滞在が長くなればなるほどこの傾向は強くなるのが考えられます。

以上を総合すると、スピードスケート選手にとって高地トレーニングは有効ですが、より効果的に実施するためには、以下のような配慮が必要であると思われる。

スピードスケート選手としての体力特性を維持しつつ標高2,000m程度の高地環境での効果も得ようとするためには、高地滞在期間をあまり長期間にせず(1～2週間程度)これを繰り返す(頻度:たとえば1ヶ月に1度)、さらに地理的に可能ならば、合宿中平地でのトレーニングを加える。標高1,300mの準高地に滞在しながらトレーニングは平地と高地の両方を利用する場合のトレーニング期間は、2～3週間程度としてこれを繰り返す。

高地環境に対する適応能力には大きな個人差があるので、高地滞在中の安静時SpO₂の測定などによって、各個人に応じたトレーニング強度および滞在期間あるいは高地利用の時期などを決定する。