

博士学位論文

水泳高地トレーニングのコンディショニング指標の開発に関する研究

令和3年度

渡部 厚一

水泳高地トレーニングのコンディショニング指標の開発に関する研究

目次

関連論文

略語

図表一覧

| | | |
|-----|---------------------------------|----|
| 1 | 緒言 | 1 |
| 1.1 | 低圧低酸素環境と生理学的反応、高地トレーニング | 1 |
| 1.2 | 日本水泳界における高地トレーニングの歴史 | 4 |
| 1.3 | 高地トレーニングにおけるコンディショニングの重要性 | 8 |
| 1.4 | 高地トレーニングと死亡事故 | 11 |
| 2 | 文献研究 | 13 |
| 2.1 | ナトリウム利尿ペプチドと高地トレーニングの関係 | 14 |
| 2.2 | SP-A と高地トレーニングの関係 | 16 |
| 2.3 | 高地トレーニングと免疫学的指標 | 17 |
| 2.4 | 高地トレーニングのコンディション評価 | 18 |
| 3 | 研究仮説・研究目的・研究課題 | 19 |
| 3.1 | 研究仮説 | 19 |
| 3.2 | 研究目的 | 20 |
| 3.3 | 研究課題 | 21 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 4 | 研究課題..... | 22 |
| 4.1 | 課題①-1 高地トレーニングがナトリウム利尿ペプチドに及ぼす影響..... | 22 |
| 4.2 | 課題①-2 高地トレーニングが肺サーファクタントプロテインに及ぼす影響..... | 35 |
| 4.3 | 課題①-3 高地トレーニングが呼吸機能に及ぼす影響..... | 41 |
| 4.4 | 課題② 高地経験が唾液分泌型免疫グロブリンAに及ぼす影響..... | 49 |
| 4.5 | 課題③ 高地トレーニングコンディション評価のための問診票の有用性..... | 63 |
| 5 | 総合討論..... | 91 |
| 5.1 | 総合討論..... | 91 |
| 5.2 | 研究の限界と今後の課題..... | 96 |
| 6 | 結論..... | 98 |
| 7 | 謝辞..... | 99 |
| 8 | 参考文献..... | 101 |

関連論文

本博士論文は以下の原著論文をもとに作成した。

渡部厚一，白木孝尚，武田剛，椿本昇三：高地トレーニング中のコンディション評価のための問診票の有用性と高地トレーニング経験がコンディションに及ぼす影響．日本臨床スポーツ医学9(1)：20-28，2011.

Watanabe K, Jesmin S, Takeda T, Shiraki T, Sengoku Y: Influence of Altitude Training on Brain Natriuretic Peptide and Atrial Natriuretic Peptide in Japanese Collegiate Swimmers. Int. J. Sport, Exc. and Health Res. 3(1): 14-18, 2019.

Watanabe K, Jesmin S, Murase Y, Takeda T, Shiraki T, Sengoku Y: Effects of Repetitive Altitude Training on Salivary Immunoglobulin A Secretion in Collegiate Swimmers. J. Clin. Med. Res. 11(8): 550-555, 2019.

また、本博士論文は以下の文献ももとに作成した。

渡部厚一，白木孝尚，椿本昇三，野村武男：高所トレーニングが肺サーファクタントプロテイン(SP-A)に及ぼす影響．筑波大学体育科学系紀要31：155-158，2008.

都筑隆太，**渡部厚一**：競泳高地トレーニング中の呼吸器関連指標の変化．水と健康医学研究会誌15(1)：9-14，2012.

武藤芳照，宮下充正，**渡部厚一**：高所トレーニング，日本水泳連盟での取り組み．臨床スポーツ医学8(6)：610-615，1991.

渡部厚一，甲斐美和子，武藤芳照：Ⅲ 中国での水泳選手の高所トレーニングの特徴と効果．平成5年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告No.Ⅱ，競技種目別競技向上に関する研究第17報，日本体育協会：pp179-181，1994.

渡部厚一，武藤芳照，鈴木紅，中森智佳子，宮下充正：Ⅱ 水泳選手の高地トレーニング．平成3年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告No.Ⅱ，競技種目別競技力向上に関する研究第15報，日本体育協会：pp70-75，1992.

渡部厚一，武藤芳照，鈴木紅，藤居徹，甲斐美和子，宮下充正：Ⅱ 水泳選手の高地トレーニング．平成2年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告No.Ⅱ，競技種目別競技力向上に関する研究第14報，日本体育協会：pp44-50，1991.

略語

ANP: atrium natriuretic peptide (心房性ナトリウム利尿ペプチド)

BNP: brain natriuretic peptide (脳性ナトリウム利尿ペプチド)

CLEIA: chemiluminescence enzyme immunoassay (化学発光酵素免疫測定法)

CRP: C-reactive protein (C反応性蛋白)

ELISA: enzyme-linked immunosorbent assays (酵素結合免疫測定法)

IL-6: interleukin-6 (インターロイキン6)

LH-TL: living high-training low (高所での生活と低地でのトレーニングの組み合わせ)

LL-TL: living low-training low (低地での生活と低地でのトレーニングの組み合わせ)

POMS: profile of mood states (気分プロフィール検査)

RIA: radioimmunoassay (ラジオイムノアッセイ)

SIgA: salivary secretory immunoglobulin A (唾液分泌型免疫グロブリンA)

SP-A: surfactant protein A (肺サーファクタントプロテインA)

SpO₂: arterial blood oxygen saturation (動脈血酸素飽和度)

図表一覧

図1-1：低圧低酸素環境での高地トレーニングにおける適応・不適応のまとめ

図3-1：研究課題の構成

図4-1-1：毎日のトレーニング量と検体採取ポイント

図4-1-2a：トレーニング群と非トレーニング群のBNP値の推移

図4-1-2b：トレーニング群と非トレーニング群のANP値の推移

図4-2-1：高地トレーニング前・中・後の血清SP-A値の変動

図4-3-1：高地トレーニング中の努力性肺活量および1秒量の変動

図4-3-2：高地トレーニング中の1秒率およびピークフロー値の変動

図4-4-1：初回群と反復群の高地における累積トレーニング量

図4-4-2：唾液分泌速度の変化

図4-4-3：唾液分泌型免疫グロブリンA濃度の変化

図4-4-4：唾液分泌型免疫グロブリンA分泌速度の変化

図4-5-1：問診票に含まれている項目（自覚的指標と疾病症状）

図4-5-2a：コンディション不良者（事例1）の問診票疾病症状と血清CRP値の推移

図4-5-2b：コンディション不良者（事例2）の問診票疾病症状と血清CRP値の推移

図4-5-2c：コンディション不良者（事例3）の問診票疾病症状と血清CRP値の推移

図4-5-2d：コンディション不良者（事例4：非トレーニング群）の問診票疾病症状と血清CRP値の推移

図4-5-3a：高地トレーニング中の自覚的指標の変化：睡眠状態

図4-5-3b：高地トレーニング中の自覚的指標の変化：食欲

図4-5-3c：高地トレーニング中の自覚的指標の変化：疲労感

図4-5-3d：高地トレーニング中の自覚的指標の変化：自覚されるコンディション

図4-5-4a：高地トレーニング中の疾病症状出現率の変化：高山病症状

図4-5-4b：高地トレーニング中の疾病症状出現率の変化：上気道症状

図4-5-4c：高地トレーニング中の疾病症状出現率の変化：胃腸症状

図4-5-5a：高地トレーニング中の脈拍数の変化

図4-5-5b：高地トレーニング中のSpO₂値の変化

図5-1：高地トレーニングの適応・不適応とコンディション評価指標の関係

表1-1：日本水泳界の初期の高地トレーニング

表4-1-1：各群のプロフィール

表4-1-2：血漿レニン活性、アルドステロン濃度と血清ナトリウム、血糖、BUNおよび算出された血清浸透圧値

表4-4-1：各群のプロフィール

1 緒言

1.1 低圧低酸素環境と生理学的反応、高地トレーニング

現在、様々なスポーツを行う多くのアスリートが高地トレーニングを取り入れている。その状況は日本でもかわらない。高地では、気圧が低下することにより吸入気酸素分圧が低下し、これにより動脈血酸素分圧も低下する。特に低酸素刺激により低酸素誘導因子やエリスロポエチン分泌促進を介する生理学的応答としての適応が生じ、赤血球増多を介した酸素運搬能の強化が生じる。また、動脈血酸素分圧の低下により酸素運搬能力が低下し体組織での時間当たりの酸素摂取量が制限されるが、その状態での運動は、通常よりも酸素供給量が少ない状態でのトレーニングとなり、平地では得られない身体への生理的負荷がかかる (Levine and Stray-Gundersen 1997; Weil et al. 1968; Wilber 2004)。

高地トレーニングが注目される契機となったのは、1964年夏季オリンピック東京大会男子マラソン競技でのエチオピア人アスリートの優勝とされる。そのアスリートがエチオピアの高地居住者であったことや、次回のメキシコ大会が高地で行われることで、低酸素環境でのパフォーマンス発揮やトレーニングが注目されることとなった。こうして1960年代から行われ、高地馴化に伴った赤血球増多による末梢組織への酸素運搬能改善と有酸素能力向上を目的とした高地トレーニングは、その後の研究によって、生体への生理学的負荷とトレーニング負荷とのバランスから、Living High-Training Low (LH-TL) といった、より効率を求め

たトレーニングにも発展し、単に酸素運搬能の強化のみを求めるトレーニングから総合的なトレーニングのひとつとしての位置づけに変わりつつある。

日本における高地トレーニングの歴史もまた1968年のメキシコオリンピックに向けた高地対策がその幕開けであるが、2018年に陸上トラックやランニングコース、2019年には日本初の高地トレーニング用屋内プール等を開設した湯の丸高原の施設を得るまでは、日本国内に本格的な高地トレーニング施設がほとんどなかった。そのため、一部の研究施設に設置された低酸素チャンバー等の人工的環境下のトレーニングを除けば、ほぼすべての日本人アスリートは通常、米国、メキシコ、中国などの海外に渡って高地トレーニングを行ってきた。

高地トレーニングは通常、1,800~2,300m程度の高度で行われることが多い。同程度の高度には多くの人口が生活する大都市が存在することや、低圧低酸素環境への不適應の結果として生ずる高山病や高地肺水腫が高度2,400m以上で生じる（Sherry et al. 1998）ことから、不適應としての高山病や高地肺水腫が容易に生じにくい高度であると考えられる。なお、2018 Lake Louise Acute Mountain Sickness Score：レイクルイーズAMSスコア2018年改訂版（Roach RC et al. 2018）によれば、睡眠障害を省いた頭痛、胃腸症状、疲労・脱力、めまい・ふらつきの4症状のうち、頭痛を含む3点以上を急性高山病と定義し、3~5点を軽症、6~9点を中等症、10~12点を重症としている。高地肺水腫は、安静時呼吸困難、咳嗽、全身脱力感、胸部圧迫感といった症状のうち2つ以上、少なくとも片肺での湿性ラ音・喘鳴、チアノーゼ、頻呼吸、頻脈といった所見のうち2つ以上を両方満たすものを高地肺水腫と診断

する (Hackett PH et al. 1992) としている。また、高地環境でのスポーツ活動における心血管イベントは1回/319,000人・日、心臓突然死が1回/980,000人・日との近年の報告 (Ponchia et al. 2006) や、高地トレーニングが通常行われるようなさらに低い高度に曝露された鍛錬されたエリートアスリートに認められる心血管反応は、それと同様かやや弱めであり、おそらく安全であろうと予想されている (Wilber 2004) ことから、高地トレーニングの健康リスクはそれほど高くないものと思われる。しかしながら、高地環境における心血管系を中心とした生理学的適応に関する研究は比較的古くからなされてきたものの、より高地で活動するため低酸素の影響が大きい登山を対象として3,100m以上の高度で行われてきたものが多い。その一方で、頻繁に高地トレーニングが行われているスポーツ種目である水泳やマラソンの運動強度は、登山よりもはるかに高く、10メッツを超える。このことから、水泳や陸上競技の2,000m程度の高地トレーニングでアスリートの身体に及ぼす負荷については、未だ明らかでないと言わざるを得ない。

1.2 日本水泳界における高地トレーニングの歴史

現在、日本水泳界では日本代表レベルのアスリートはもちろん、大学生アスリートやスイミングクラブ単位で高地トレーニングが定期的に行われ、年間トレーニングスケジュールのひとつともなっている。

その始まりは、1965年10月に開催されたメキシコ市（2,300m）での国際競技会（Little Olympic）に参加するためのトレーニングであり、1968年の第19回オリンピック・メキシコ大会を見据えて、高地での競技会を前提として身体をいかにうまく馴化させるかに焦点が置かれていた。また、オリンピック・メキシコ大会後にアメリカの平地での競技会に参加したアスリートに、予想以上の好成績を得た者が少なくなかったことから、高地トレーニング後に平地での競技会に臨んだ場合に有利な成績を得ることができることが具体的に示された。

このような経験から1982年夏には日本代表選手を対象とした高地トレーニングが再開され、ここから日本水泳界の高地トレーニングが本格的に取り組まれたとあってよい。1965年時のトレーニングと異なるのは、当初から平地での競技会の好成績を目標に、競技会直前に高地トレーニングを終えて下山する点であり、その後、ほぼ毎年のようにオリンピック等の国際競技会に向けた事前強化合宿として、トップおよびジュニアナショナルチームアスリートが海外に高地トレーニング派遣されている。

筆者らは、日本水泳連盟により初期に行われた高地トレーニングについて、オリンピックにより3期に分け、各期の成果および特色を分析している（表1-1）。

表1-1：日本水泳界の初期の高地トレーニング

| 期 | 回 | 年月 | | 場所 | | 高度 | 選手構成 | | | 年齢層 | 滞在期間 | 平地での大会名 |
|-----|----|------|--------|------|------------|------|------|----|----|-------|------|----------------------------------|
| | | | | | | (m) | 男子 | 女子 | 合計 | (歳) | (週) | |
| 第1期 | 1 | 1982 | 7 ~ 8 | 米国 | コロラドスプリングス | 1800 | 4 | 5 | 9 | 13-17 | 3 | サンタクララ国際 インダストリーヒル国際 |
| | 2 | 1982 | 12 ~ 1 | メキシコ | メキシコシティ | 2300 | 8 | 0 | 8 | 14-19 | 3 | US国際（インディアナポリス） |
| | 3 | 1983 | 6 ~ 7 | メキシコ | メキシコシティ | 2300 | 4 | 8 | 12 | 13-18 | 3 | ロサンゼルス・ブレオオリンピック |
| | 4 | 1983 | 12 ~ 1 | メキシコ | メキシコシティ | 2300 | 10 | 13 | 23 | 12-16 | 3 | US国際（オースチン） |
| | 5 | 1984 | 6 ~ 7 | メキシコ | メキシコシティ | 2300 | 10 | 12 | 22 | 13-16 | 3 | ロサンゼルス・オリンピック |
| 第2期 | 6 | 1986 | 2 ~ 3 | 米国 | フラグスタッフ | 2150 | 5 | 5 | 10 | 中3-大1 | 3 | ファーウエスタン1986 ショートコースチャンピオンシップ |
| | 7 | 1987 | 2 ~ 3 | 米国 | フラグスタッフ | 2150 | 8 | 5 | 13 | 中3-大3 | 3-5 | 日本室内選手権 |
| | 8 | 1987 | 7 ~ 8 | 米国 | フラグスタッフ | 2150 | 0 | 4 | 4 | 高1-高2 | 3 | バンバシフィック水泳（豪州・プリズベーン） |
| | 9 | 1988 | 8 ~ 9 | 米国 | フラグスタッフ | 2150 | 3 | 4 | 7 | 14-21 | 3 | ソウル・オリンピック |
| 第3期 | 10 | 1990 | 7 ~ 8 | 米国 | コロラドスプリングス | 1800 | 2 | 2 | 4 | 13-16 | 3 | サンタクララ国際<登山前> |
| | | | | 米国 | フラグスタッフ | 2150 | 2 | 2 | 4 | 14-18 | | |
| | 11 | 1990 | 8 ~ 9 | 米国 | コロラドスプリングス | 1800 | 2 | 2 | 4 | 16-20 | 3 | 北京・アジア大会 |
| | | | | 米国 | フラグスタッフ | 2150 | | | | | | |

第1期：オリンピックロサンゼルス大会までの主にメキシコ市での高地トレーニング

高度2,300mでの高地トレーニング（米国・コロラドスプリングス1回およびメキシコ・メキシコシティ4回）により、健康状態が良く保たれつつ平地での泳ぎのテンポに合わせた練習がうまく行われた場合には、平地で行われる200m以上の中・長距離種目での競技成績を向上できるという、一応の結論を得るとともに、赤血球数6~20%、ヘモグロビン濃度3~10%、ヘマトクリット5~19%の血液成分の増加が認められ、2~9%の水泳スピードの増加が期待できることが実証された。一方で、ロサンゼルス大会直前の4回目のメキシコでの高地トレーニングではその評価が分かれ、極めて個別性を要するトレーニング方法であることが示された。つまり、その後の高地トレーニング計画に当たって、性、年齢、専門種目、練習態度や生活管理、代表選手としての自覚、故障や貧血の有無などのデータにより、選手編成により細心の配慮を行うとともに、高地滞在中の健康管理に十分な体制を組む必要性が強調された。

第2期：オリンピックソウル大会までのノースアリゾナ・フラッグスタッフでの高地トレーニング

高度2,150mの米国・フラッグスタッフでの4回の高地トレーニング経験と科学的データの蓄積により、高地トレーニングが現実的な“強化トレーニング”のひとつであるというイメージに変貌してきたとともに、選手、コーチ、スポーツ医・科学者の綿密な協力体制が、高地トレーニングの成功には不可欠であるという認識を得た時期でもあった。

第3期：オリンピックソウル大会以降の高地トレーニング

高度1,800mの米国・コロラドスプリングスと高度2,150mのフラッグスタッフの2つの異なる高度での高地トレーニングから、高度の差だけでなく、環境やトレーニングメニュー、動機づけなど、現実的な強化トレーニングの複雑性が認識された。このため、選手の体調や疲労を知るために、血液検査とともに練習日誌や感想文などが重要な役割を持つとされた。

その後、1990年代に入ると、1992年のオリンピック・バルセロナ大会が意識され、開催地はヨーロッパに拡大した。例えば、自由形中・長距離および個人メドレーの4種目5名が高地トレーニングを行った高度1,850mのフランス・フォントロミューはスペインとの国境近くにある小さな町であり、フランスが1968年のメキシコ大会時に建設した地上9階の宿泊施設に屋内プール、陸上競技場、体育館、アイススケートリンクなどを備え、フランス、ベルギー、イタリア、オーストラリアからのチームが合宿を行ってきた。しかし、激しい気候変動で晴天時でも肌寒く、朝夕や雨天時に冷え込むため、衣類や咽頭痛対策の必要性が報告されている（有吉ら 1993）。

2000年代に入ると、主要競技会に向けた高地トレーニングは大学やクラブ単位でのトレーニングも含め頻繁になった。しかし、陸上長距離種目と比較すると、水泳競技の多くは100～200m泳、数分以内の運動であるため、水泳競技における高地トレーニングの目的は、酸素運搬能の強化による有酸素能力向上というよりも、平地では得ることのできない低圧低酸素負荷を利用した総合的な競技能力向上にあるといえよう。

1.3 高地トレーニングにおけるコンディショニングの重要性

1980年代から1990年代初頭の高地トレーニングにおけるコンディショニングを、当時の中国での取り組みと比較して、筆者は高地トレーニングにおけるコンディショニングの重要性を論じている（渡部ら 1994）。

中国では、1986年のアジア競技大会から1992年のオリンピック・バルセロナ大会の7年間で3～4週間の高地トレーニングを計13回実施しており、このうち68例（男子30名で平均22.5歳、女子38名で平均19.5歳）について、血中乳酸値、心エコー図、ヘモグロビン値、尿蛋白と体重を評価していた。最大血中乳酸値が16～20mMと平地トレーニングより増加しており、生理学的観点から高地トレーニングは耐乳酸トレーニングの一種と考えていた。また、心臓超音波では心拍出量、左室駆出率の上昇、左室後壁厚の増加など左心機能の向上が確認され、ほとんどの選手において高地トレーニング後3～4週後に心機能向上が認められた。血液中のヘモグロビン量は高地トレーニング後に増加し、通常1～2週、最大5週まで持続した。体重は高地トレーニング後2Kg、最大5Kg減少した。夜間尿蛋白値測定を用いて、測定1～2日前のアスリートの疲労状態について、30～40mgの尿蛋白では疲労が回復していない、50mg以上ではトレーニング負荷軽減の指標と判断していた。

そして、高地トレーニング成功の条件は、①標高1,900～2,500m（最適2,000m）、②平地並のトレーニング負荷が必要、③実施期間は少なくとも3週、長くて6～8週とし、試合前3週は低地で疲労回復、スピード改善、テーパリングを行うこと、④低地で有酸素トレーニング

グを十分実施してから高地で徐々に無酸素トレーニングを処方すること、⑤補助運動としてのトレーニングを欠かさないこと（Weng 1993）としていた。

このように、中国と日本の高地トレーニングを比較すると、至適高度2,000mが選ばれていること、平地並みのトレーニング負荷を与える必要性、補助運動としてのトレーニングなど、高地トレーニングの成功条件は中国も日本も見解が概ね一致している。

一方、相違点は主として中国での測定項目の豊富さにあり、①トレーニング効果の指標として血中乳酸値を測定していること、②循環器系機能指標として、心臓超音波検査で評価していること、③疲労の指標として、夜間尿中蛋白量を測定していることが挙げられた。

つまり、日本では有酸素能力向上としての高地トレーニングとして当時に至ったが、中国では血中乳酸値測定データの蓄積からトレーニング負荷の調節を行っているため、むしろ耐乳酸や無酸素性能力向上のためのトレーニングに視点が置かれており、高地トレーニングを繰り返すことで適応も繰り返されることから、同じアスリートが繰り返し高地トレーニングを行っている。

次に、日本では酸素運搬能力評価を血液のヘモグロビン値で行ってきたが、中国では血液を運搬する循環機能として心臓超音波検査を行っていた（Weng 1993）。つまり、日本ではヘモグロビン値を唯一の評価指標としながら心臓超音波を行わず高地より下山後の競技会までのコンディショニングに傾注してきた（園田 1993）のに対して、中国では、ヘモグロビン自体を運搬する心血管系としての循環機能改善を評価指標として、最高の競技力を引き出

せるための高地トレーニングから競技会までの期間を検討し、競技会を下山後3週間の時期になるよう高地トレーニング計画を組んでいた。最後に、疲労の客観的評価項目として、日本では体重の変化、練習日誌による主観的变化、血液サンプルをもとにしてきたが具体的評価が難しかった一方で、中国では尿蛋白の値からかなり具体的に疲労を評価し、選手のトレーニングプログラムに反映させており、日本でもすぐに試すべき測定項目の1つと考察している。

以上より、中国での高地トレーニングの科学研究は日本よりも大規模であり、競技力向上への成果もかなりのものであることが分かったが、日本の高地トレーニング研究を阻害する要因として、国内での高地トレーニングを行えないことを指摘し、血算と血液生化学、体重が主な日本の医学的測定項目であった原因として、海外での測定の煩雑さや経費によるところが大きいと指摘している。

1.4 高地トレーニングと死亡事故

このような日本の高地トレーニングの状況のなか、2006年には日本人大学生選手による海外での高地トレーニング中の死亡事故が発生した。この事故を契機として、日本水泳連盟では「高地トレーニングに関するガイドライン」が策定された（日本水泳連盟 2008）が、その本文にみるように未だ「経験知」によるものが大きい現状である。その後も、2012年には米国の高地トレーニング施設でノルウェーのAlexander Dale Oen選手が急死する事件が報道された（Irish Times: Norway's Olympic hopeful Oen dies. The Irish Times DAC May 2, 2012）。このように、発生頻度としてはそれほど高くないとされるものの、トップアスリートによる高地トレーニング中の死亡事故が発生していることも事実である。また、国内における高地トレーニング施設の必要性はもちろんのこと、高地における生理学的反応の知見を深め、医療過疎となりやすい高地トレーニング施設での、現場で評価しうるコンディション指標の確立と、医学的安全性に十分に考慮したトレーニング計画についても、喫緊の課題である。

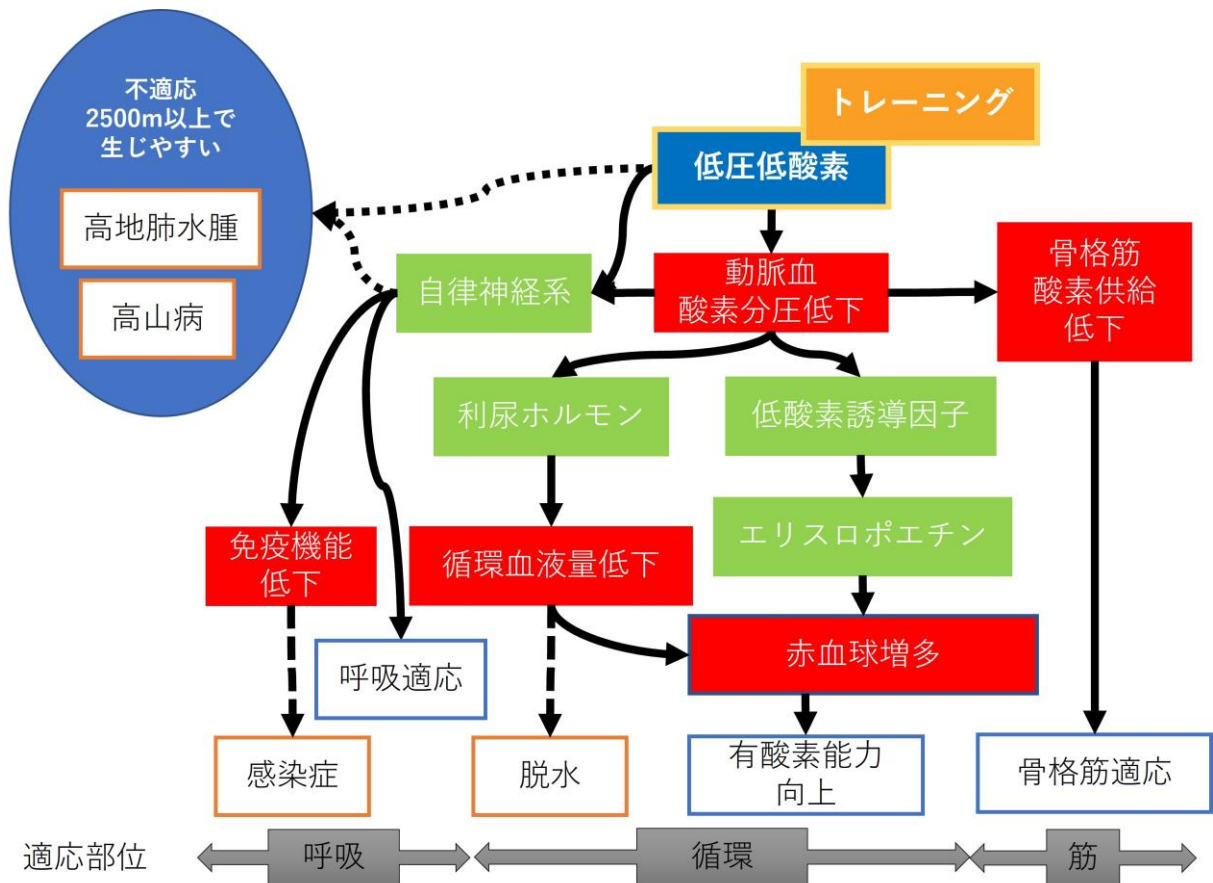


図1-1：低圧低酸素環境での高地トレーニングにおける適応・不適応のまとめ

高地トレーニングにより起こりうる適応を青枠で示す。高地トレーニングによる応答の結果、結び付きやすいコンディション不良を破線およびオレンジ枠で示す。不適応としての応答を点線およびオレンジ枠で示す。高度2,500m以上で生じやすい。

2 文献研究

本研究では、低圧低酸素環境で行われる高地トレーニングでのコンディション指標の開発を視点におき、図 1-1 のなかでもコンディション管理に影響を及ぼすと考えられる、脱水、感染症、高地不応に注目して、利尿ホルモンであるナトリウム利尿ペプチド、口腔内局所免疫に関係するとされる唾液分泌型免疫グロブリン A、肺サーファクタントについて文献研究を行った。

2.1 ナトリウム利尿ペプチドと高地トレーニングの関係

ナトリウム利尿ペプチドは、心房や心室の拡張や心筋細胞の伸張刺激により分泌され、体液バランスや血圧調節に関与しており、心房性利尿ペプチド（ANP：atrial natriuretic peptide）や脳利尿ペプチド（BNP：brain natriuretic peptide）などが知られている（Akashi et al. 2007; Liang and Gardner 1997; Liang et al. 1999）。BNPをエンコードする遺伝子とANPをエンコードする遺伝子には違いがあり（Chen 2005; Tamura et al. 1996）、更にBNPは時間変動がより少なく（Clerico et al. 1999; Daniels et al. 2008）、ANPと比較して心筋傷害や心機能により鋭敏に反応するとされている（de Lemos et al. 2003; Steele et al. 1997）。

運動がナトリウム利尿ペプチドに及ぼす影響に関して、血漿BNP濃度がすべてのプロサッカー選手において、サッカートレーニング後24時間で正常範囲内にあった（Lowbeer et al. 2007）のに対し、ウルトラトライアスロンの研究ではBNPがすべての選手で運動後に増加し、その中央値が有意に増加した（12.2 vs 42.5ng/l; $P < 0.001$ ）との報告（La Gerche et al. 2008）や、大学生アスリートのBNPの中央値は8pg/mlで、BNPと運動負荷量の間に関連があった（Daniels et al. 2008）との報告がある。一方で、うっ血性心不全患者において運動で生じるBNP値の増加はごくわずかである（Kato et al. 2000）ことからBNP値の変化は高強度運動にほとんど伴うことなく、逆に、運動後のBNP値から健常者をうっ血性心不全があると判断することもできない（McNairy et al. 2002）。つまり、事前の運動がうっ血性心不全患者のBNPに影響を与えないため、BNP値の著明な変化はまさしく病状を反映している

といえる (McNairy et al. 2002)。そのほか、BNP/ANP比の値はより敏感で、心不全などの心疾患の予測に役立つと報告されている (Arad et al. 1996; Arima et al. 2002; Nicholson et al. 1993; Shimamoto et al. 2007)。このように、BNP値とBNP/ANP比は心機能を強く反映すると考えられ、BNPは心不全のマーカーとして広く評価されてきており、NT-pro BNPはさらに精度が高いとされている。

一方、ラットを用いた研究では、水泳は主に右心房から血中へのANP放出を誘導し、ANPの回復には約1日を要する (Suda et al. 2006) としている。また、ANPは運動強度にかなり影響を受け、運動強度ほどではないが運動持続時間によっても影響される (Schmidt et al. 1990)。ANP値の変動の遷延は極度の脱水状態でも観察され、運動中の補水によって回復しなかった (Schmidt et al. 1999)。

高地環境のストレスがナトリウム利尿ペプチドに及ぼす影響に関しては、以前より高山病とANP値の関連性が報告 (Bartsch et al. 1988; Loepky et al. 2005) されている。ANPは低酸素反応性遺伝子によりエンコードされており、低酸素曝露48時間以内に分泌される

(Chen 2005)。また、慢性的な低圧低酸素はANP値を上昇させるが、高地馴化を伴った持久性トレーニングはANPの上昇を減弱させる (Hou et al. 2000)。ラットにおいては登山後21日目にANP値が上昇し、ANP/BNP mRNAの発現が低圧低酸素刺激や持久性運動により高まる (Perhonen et al. 1997) と報告され、高地馴化後の最大下運動中に減少したANPとANPの時間経過は血漿レニン活性やアルドステロンの変動とは異なると報告 (Bocqueraz

et al. 2004; Rock et al. 1993) されている。一方、主に心室より分泌されるBNPに対する高地環境の作用は報告されていない。

2.2 SP-A と高地トレーニングの関係

肺サーファクタントプロテインは現在、A (SP-A)、B、C、D の4種類が明らかにされており、なかでもSP-Aが体内に最も豊富に存在する。SP-Aの構造は、N末端側にコラーゲン様の構造を持ち、アミノ酸34~38個からなるネック領域を挟んでC末端側には糖鎖認識領域が存在する。その主な機能は肺胞II型上皮細胞におけるサーファクタントの代謝調節や格子様構造の維持、肺胞マクロファージの貪食能および走化能を増強し、気道から侵入した細菌、ウイルスからの生体防御に関係することなどが挙げられており、肺胞局所の損傷により血中に流入し血中濃度が上昇することから、医療分野では間質性肺炎の活動性の指標として臨床応用されている(秋野 1994; 日野ら 1994; 倉島 1996; 高橋ら 2000)。一方、高所馴化への不適応として高地肺水腫が知られているが、肺胞局所で産生されるサーファクタンプロテイン (SP) の一種であるSP-Aの遺伝子多型と肺水腫リスクの関連性が示唆(Saxena et al. 2005) されている。また、動物において低酸素状態での肺胞でのサーファクタント増加 (Takahashi et al. 1989) や常圧高酸素での肺胞サーファクタント減少 (Ledwozyw and Borowicz 1992; Gross and Smith 1981) が報告されている。そこで、低酸素環境への適応に関連したSP-Aの変動が生じると考えられるが、先行研究では、高所登山者の血清SP-A値の

変化を認めなかった (Swenson et al. 2002) と報告されており、2,000m程度の高地トレーニングで血清SP-A値がどのように影響するかについては全く明らかではない。

2.3 高地トレーニングと免疫学的指標

スポーツ場面での高地トレーニングに関連して、高地への登山が感染症発生を増加させる (Demel et al. 2000) 。また、上気道感染症や消化器感染症が登山後8~14日で認められやすいことが報告されている (Bailey et al. 2003) 。考えられるメカニズムの一つとしては、高地での長期滞在期間中にグルタミンの合成率の慢性的な低下が生じ、これは逆に消化管粘膜の萎縮や微生物のトランスロケーション、エンドトキシン血症、筋蛋白異化、免疫反応の減弱化を及ぼすというものである (Wagenmakers 1992) 。ある研究では、登山後数日のSIgA濃度の低下と登山後8~14日での唾液分泌速度の有意な低下を認めている。これらの知見から、高地トレーニング急性期ではSIgA濃度の低下を含む免疫抑制が起こり、慢性期には唾液分泌速度の減少により局所クリアランス不全が生じる可能性がある。しかしながらこれらの知見は、感染症や急性高山病と関連する非特異的で合理的な症状と類似しているため、高山病の誤診の可能性に重点を置いている (Bailey et al. 2003) 。従って、高山病症状とのオーバーラップのため、明確な結論を出すのは困難である (Walsh and Whitham 2006) 。その他の理由としては、高地での感染症の多くは臨床的に診断され、その診断を支持する客観的なデータがとりにくいことである。

繰り返すトレーニングに関しては、短時間の連日の間欠的な4,300m高地での曝露は高地馴化に匹敵する生理学的適応を引き起こすことにより、持続的な高地滞在とほぼ同等の効果を示したとする研究があるが、この刺激では、ホルモン刺激反応を引き起こさず、白血球や白血球分画測定としての、高地での免疫賦活化の面でも特に悪影響を認めなかった (Beidleman et al. 2006)。

2.4 高地トレーニングのコンディション評価

スポーツにおける問診票の応用は、POMS等の心理テスト、トレーニング中の食事、栄養、睡眠、疲労度、トレーニング状態の質問紙調査や選手の練習日誌に記載された主観的症状を判定する方法が行われてきた(渡部ら 1991; 渡部ら 1992; 鳥居ら 1993)。コンディション評価は、これらに加えて体重の変化、脈拍数、血液検査などで行われ、中国では尿蛋白を疲労の指標としてトレーニングプログラムに反映させた時期もあった(渡部ら 1994)。しかし、問診票を疲労や心理面の評価に用いる傾向はあっても、疾病症状と高地のコンディションを判別するコンディション評価の研究は認めない。また、問診票の定量的解析に関しても、有疾患におけるリハビリテーショントレーニング中の自覚的評価、スポーツトレーニング中の心理的コンディション評価や種目特性との関連(Stephan et al. 2003; 黒川ら 2004)、教育現場や社会的身体活動での自覚的評価(Renfrow and Bolton 1979; Wright et al. 2007)として行われるのみである。

3 研究仮説・研究目的・研究課題

3.1 研究仮説

高地トレーニングが行われる高度においても大きな人口をもつ世界的都市があることから、高地に滞在すること自体によるヒトへの健康上のリスクは大きくないと考えられる一方で、平地に生活しているアスリートが高地トレーニングとして高強度トレーニングをすることにより負う健康上のリスクも存在する可能性がある。また、高地トレーニングの開催場所は、高地自体、特にトレーニング地を求めて海外に遠征する日本人にとって医療過疎となりがちで、健康被害に対応しにくい環境である。従って、より安全に高地トレーニングを行うためのコンディション評価指標の構築が必要である。本研究では、以下の仮説をたてて研究課題を設定した。

- ・高地トレーニングにより循環・呼吸系指標は影響を受けるが、その影響は高地そのものよりも高地で行われるトレーニングによるものが大きい。つまり、高地滞在がリスクではなく、高地において高強度トレーニングすることによりリスクが生じる。
- ・高地トレーニングにおけるコンディション評価指標の構築は可能である。

3.2 研究目的

水泳競技で行われている高地トレーニングがアスリートの身体的コンディションに及ぼす影響について、

I：トレーニング現場で評価しうる呼吸循環器系、免疫系指標により、コンディショニングに及ぼす因子について検討すること

II：高地トレーニング経験の有無によるコンディションの違いについて検討すること

III：より安全な高地トレーニングに役立つ生理学的指標とコンディション評価方法の組み合わせについて検討すること

3.3 研究課題

目的を達成するため、図3-1のように「水泳高地トレーニングのコンディション指標の開発に関する研究」として、3つの研究課題を設定した。

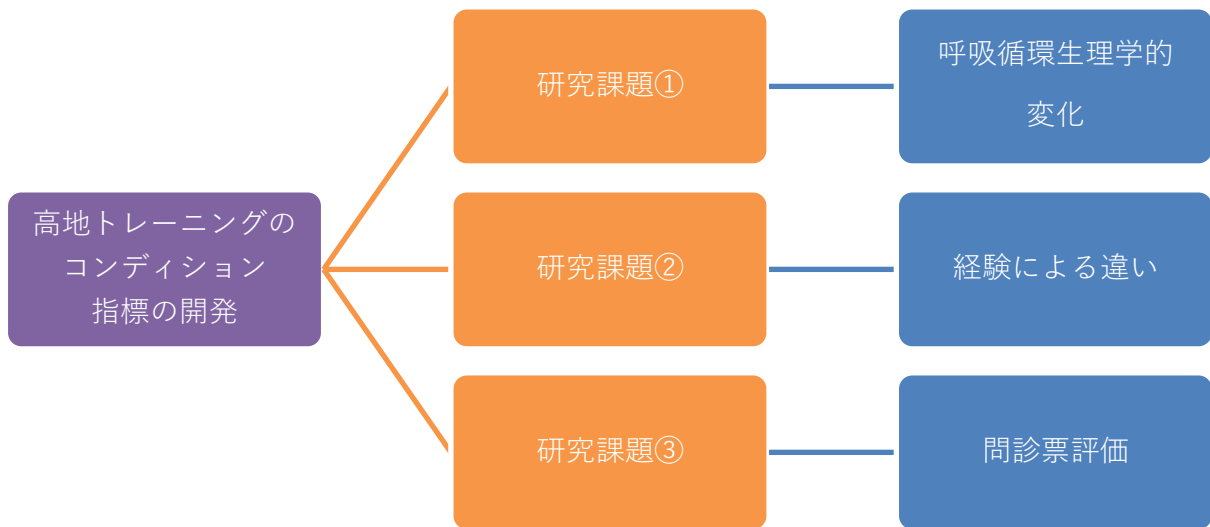


図3-1：研究課題の構成

4 研究課題

4.1 課題①-1 高地トレーニングがナトリウム利尿ペプチドに及ぼす影響

【緒言】

ナトリウム利尿ペプチドのうち、ANPは低酸素状態によって心房からの分泌が刺激され、その結果、利尿による血液濃縮に関与する可能性がある。一方、BNPはANPと比較して心筋傷害や心機能により鋭敏に反応するとされているが、高地環境での変動についてはあまり知られていない。また、2,000m程度の高地トレーニングでのBNPやANPの応答については報告されていない。

【目的】

標高1,900mでの水泳高地トレーニングがANPやBNPに及ぼす影響について評価し、低酸素でのトレーニング環境での血液動態マーカーとしての指標となりうるかを評価することを目的とした。

【方法】

対象者：

水泳高地トレーニングに参加した大学生競泳選手10名をトレーニング群とし、トレーニング群と同時に高地に滞在したがトレーニングを行わなかった健常若年者5名を非トレーニング群として選定した。

トレーニングは中華人民共和国雲南省昆明市で17日間行われた。昆明市の標高は1,900mであり大気圧が海拔0mの約80%に相当する。競泳選手らは高地トレーニング前後には週5回程度、平地で通常の水泳トレーニングをこなしていたが、高地トレーニング経験はなく初めてであった。

トレーニング期間中、トレーニング群の1名が個人的な理由により下山、中途帰国せざるをえず分析対象から除外した。表4-1-1にトレーニング群と非トレーニング群のプロフィールを示す。トレーニング群は非トレーニング群と比較して年齢で有意差 ($P < 0.05$) を認めたが、年齢以外では有意差を認めなかった。

表4-1-1：各群のプロフィール

| | トレーニング群 (9 名) | 非トレーニング群 (5 名) | |
|---------|--------------------|---------------------|---|
| 年齢 (歳) | 19.6 ± 1.2 | 24.6 ± 3.6 | * |
| 身長 (cm) | 169.2 ± 5.0 | 169.2 ± 6.4 | |
| 体重 (Kg) | 63.3 ± 4.6 | 67.6 ± 11.0 | |

平均±標準偏差, * : 群間で有意差あり ($P < 0.05$)

検体採取と分析：

図 4-1-1 にトレーニング群が行った毎日のトレーニング量と平均 1 日トレーニング量、検体採取ポイントを示す。

トレーニングは高地トレーニング経験のあるコーチによって、以前の高地トレーニング経験とデータに基づき計画され、平均水泳トレーニング量は7,433m/日であった。一方、非トレーニング群は高地滞在中および滞在前後では定期的な運動を行わなかった。

検体は、前腕皮静脈から21～20G針を用いて高地登山前1回（登山前）、登山中3回（5日目、10日目、16日目）、下山後1回（下山後5日）の合計5回、早朝空腹時に座位にて血液を採取した。

血液採取後、遠心分離器（コクサン社製HN-11B）を用いて2,000g、10分の遠心分離を行い血清または血漿に分離し、-20°C以下に凍結した。凍結検体を血液検体検査機関（SRL Inc., Tokyo, Japanおよび江東微生物研究所, Tokyo, Japan）に輸送し、ANPとBNP値を immunoradiometric assays based on a 2-site sandwich antibody system（Shionogi, Japan）により分析した。血漿レニン活性とアルドステロン濃度についてはRIA法で分析した。また、血清ナトリウム（Na）、グルコース（Glu）および尿素窒素（BUN）から、血清浸透圧（sOsm）を下記計算式に従って計算した。

$$\text{血清浸透圧 (mOsm/kg)} = 1.86 \times \text{Na} + \text{Glu}/18 + \text{BUN}/2.8$$

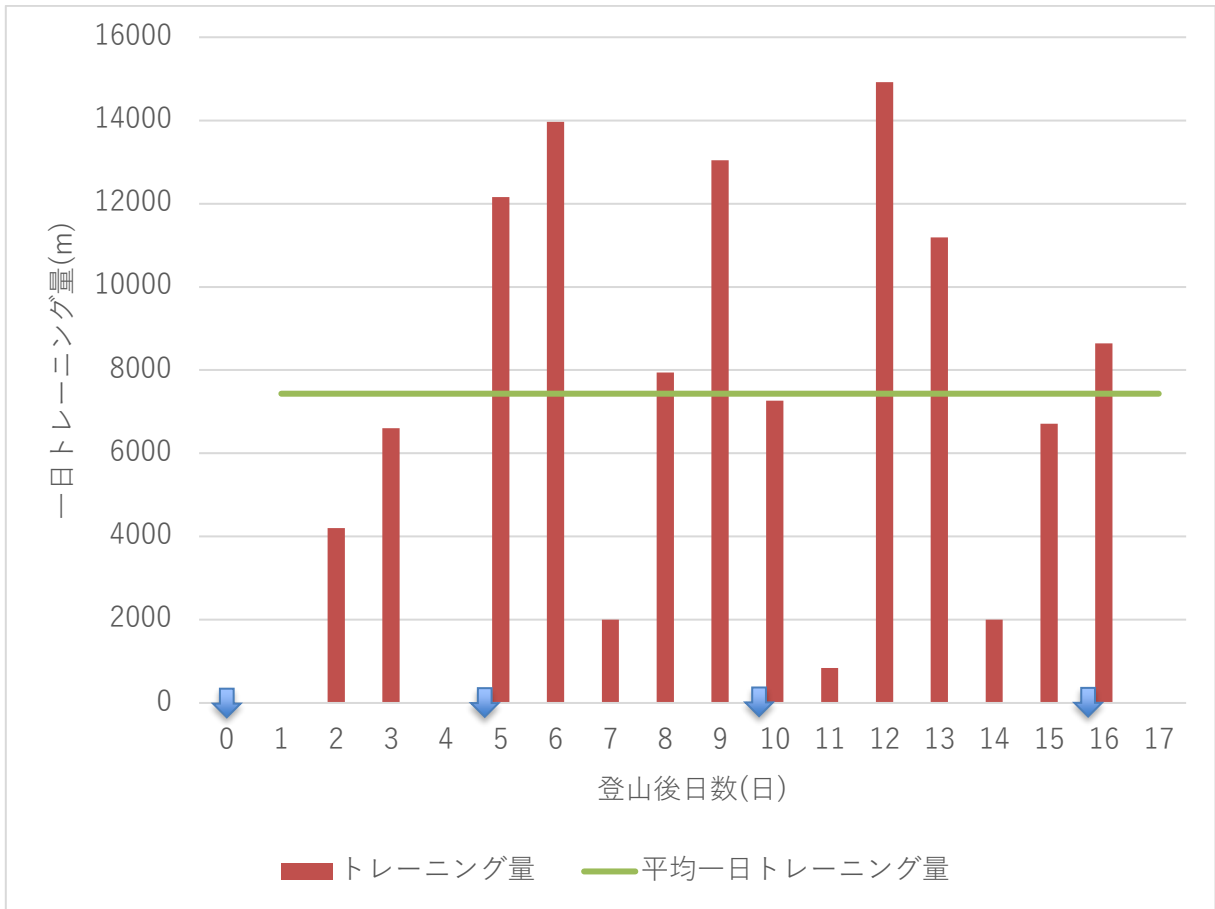


図4-1-1：毎日のトレーニング量と検体採取ポイント

検体採取ポイントを図中に矢印で示す。トレーニング前日（登山前）、トレーニング中（登山後5日目、10日目、16日目）で、この他にトレーニング後（下山後5日目）にも採取した。

統計解析：

得られたデータは平均±標準誤差で表記した。また、特に記載のない限り有意確率5%未満 ($P < 0.05$) を統計学的に有意とした。

ANP、BNPについて、群間の差をMann-Whitney's U testで、各群の時間的変化についてはKruskal Wallis test with Steel-Dwassで検討した。

その他の変数では、トレーニング群と非トレーニング群の群間の差について対応のない両側 t 検定とWelchの検定を用いて解析した。各群の経時変化については一元配置分散分析および事後検定としてTukeyの検定を行った。

これらの統計学的解析にはExcel-Toukei 2006TM (Social Survey Research Information Co.,Ltd., Tokyo, Japan) を用いた。

倫理的配慮：

筑波大学大学院人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得て行われた。被験者には口頭および書面で説明し、書面での同意を得た。利益相反に関する事項は生じなかった。

【結果】

各群における血漿BNPとANP値の変動を図4-1-2aおよび図4-1-2bに示す。時間経過とともにトレーニング群のBNPは5日目と10日目の間でのみ有意な差 ($P < 0.05$) を認めた。また、トレーニング群のうち1名のBNP値が基準値 (0~18.2pg/ml) を上回る高値を示した (5日目で24.3pg/mlおよび16日目で20.7pg/ml)。非トレーニング群のBNP値は高地滞在前後での有意差を認めなかった。トレーニング群と非トレーニング群の差は5日目、10日目、16日目の各測定時期で認められた (それぞれ $P < 0.01$ 、 $P < 0.05$ 、 $P < 0.05$)。

一方、血漿ANP値は、トレーニング群では高地トレーニング前後を含め有意な時間的変化は認めなかった。5日目の非トレーニング群のANP値はトレーニング群に比べて有意に高値であった ($P < 0.05$) が基準値である43.0pg/mlを下回っていた。そのほかに群間差は認められなかった。

血漿レニン活性、アルドステロン値、血清ナトリウム、血糖、尿素窒素 (BUN)、およびこれらにより計算される血清浸透圧値を表4-1-2にまとめた。下山後のNaと血清浸透圧、10日目におけるBUNはトレーニング群と非トレーニング群の間で差を認めた。トレーニング群の10日目および16日目における血清グルコース値が登山前と比較して有意に低いほかは、いずれの群においても時間的変化に有意差を認めなかった。

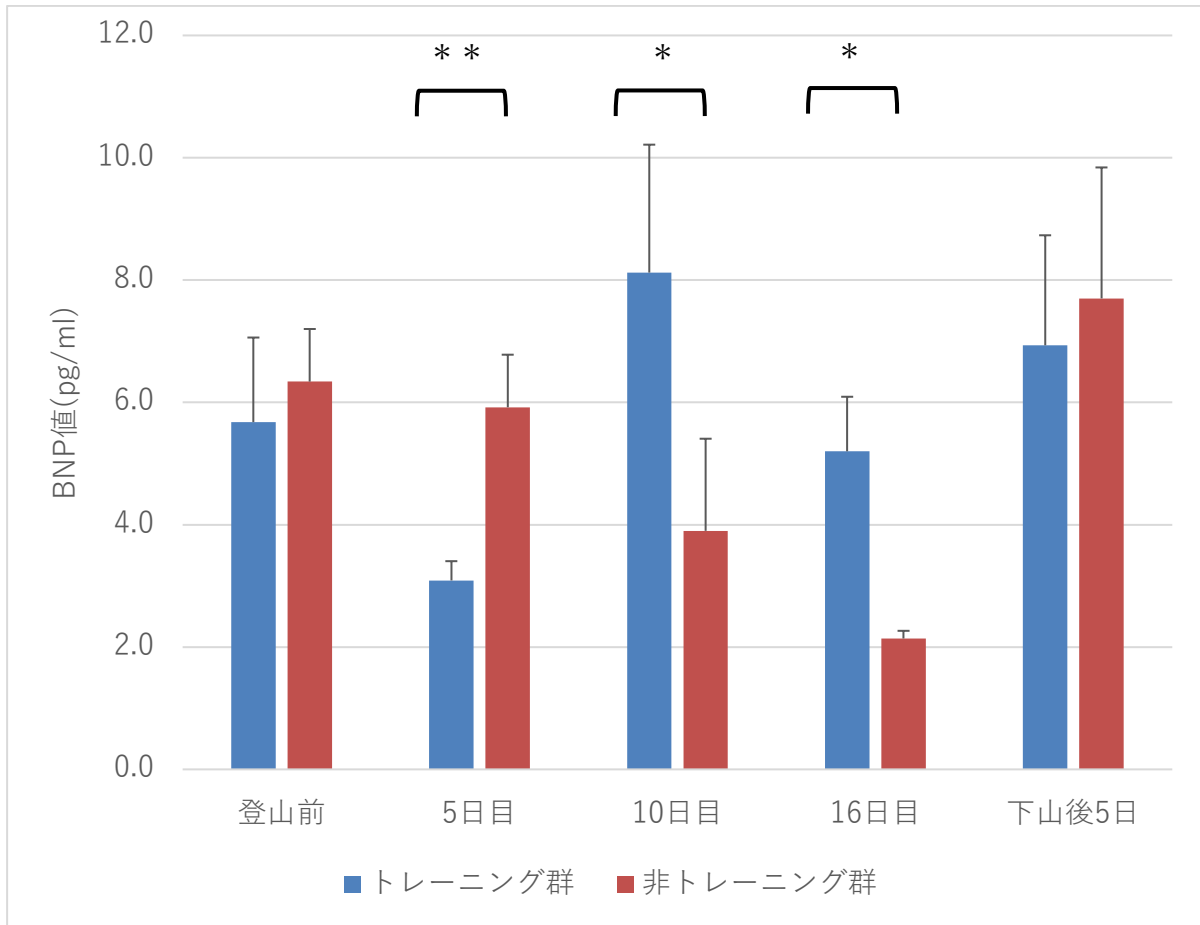


図4-1-2a：トレーニング群と非トレーニング群のBNP値の推移

トレーニング群と非トレーニング群の間で5日目、10日目、16日目に有意差を認めた (**: $P < 0.01$ 、*: $P < 0.05$)。

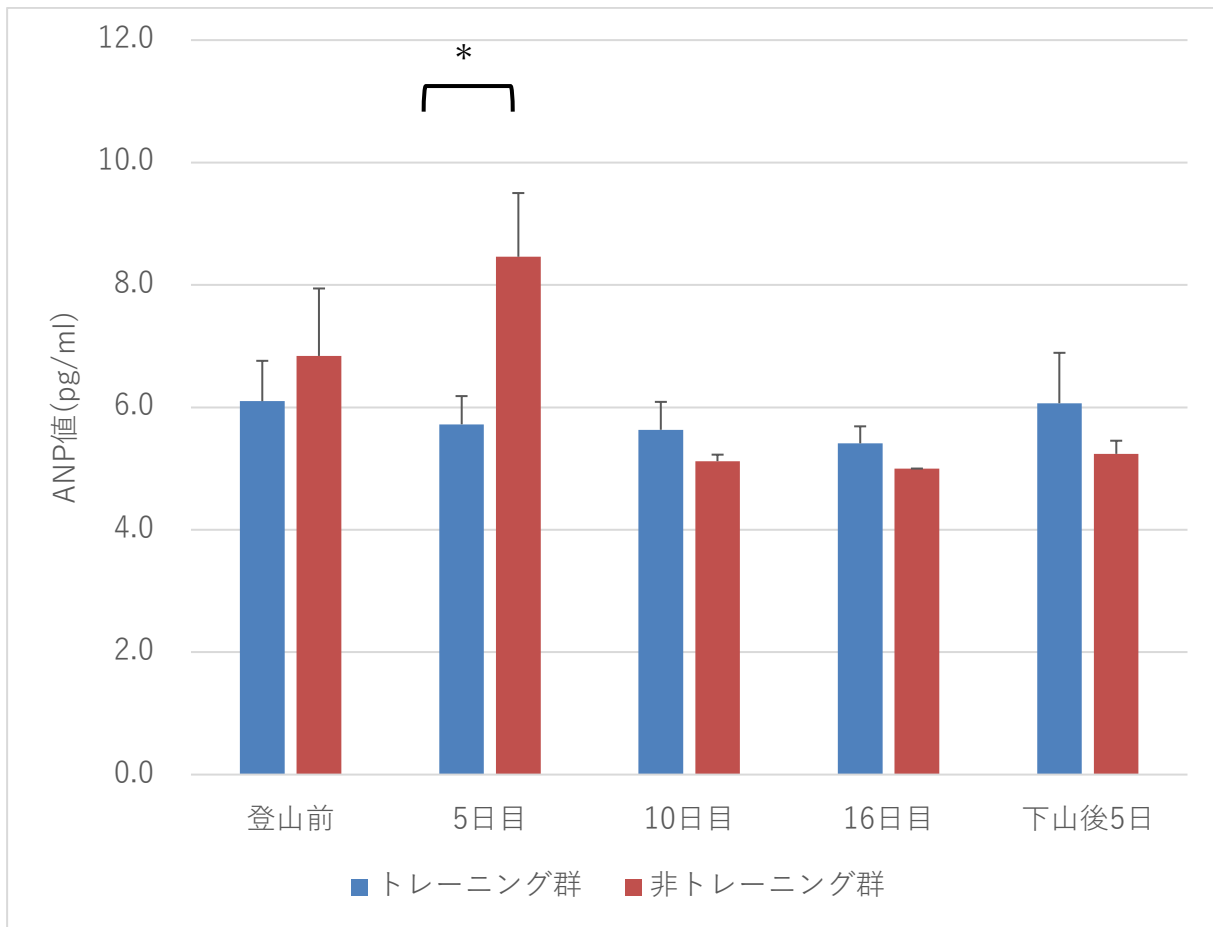


図4-1-2b：トレーニング群と非トレーニング群のANP値の推移

トレーニング群と非トレーニング群の間で5日目に有意差を認めた (*: $P < 0.05$)。

表4-1-2：血漿レニン活性、アルドステロン濃度と血清ナトリウム、血糖、BUNおよび算出された血清浸透圧値

| | 登山前 | 5日目 | 10日目 | 16日目 | 下山後 |
|--------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| 血漿レニン活性 (ng/mL/hr) | | | | | |
| トレーニング群 | 2.5 ± 0.2 | 4.2 ± 2.0 | 2.5 ± 0.3 | 2.0 ± 0.3 | 2.1 ± 0.3 |
| 非トレーニング群 | 2.8 ± 0.4 | 1.8 ± 0.5 | 1.8 ± 0.5 | 1.9 ± 0.1 | 2.9 ± 0.2 |
| 血漿アルドステロン (ng/dL) | | | | | |
| トレーニング群 | 18.8 ± 3.1 | 19.8 ± 5.4 | 18.9 ± 2.4 | 17.0 ± 2.7 | 14.0 ± 1.8 |
| 非トレーニング群 | 17.2 ± 2.0 | 14.3 ± 1.9 | 13.8 ± 1.8 | 15.8 ± 1.6 | 24.3 ± 5.9 |
| 血清ナトリウム (mEq/L) | | | | | |
| トレーニング群 | 139.9 ± 0.5 | 139.9 ± 0.4 | 138.7 ± 0.3 | 140.2 ± 0.6 | 139.5 ± 0.5 * |
| 非トレーニング群 | 140.8 ± 0.6 | 140.0 ± 0.5 | 141.0 ± 1.0 | 138.8 ± 1.0 | 137.8 ± 0.2 |
| 血糖 (mg/dL) | | | | | |
| トレーニング群 | 87.6 ± 2.6 | 83.4 ± 2.8 | 74.4 ± 3.0 # | 74.4 ± 1.1 # | 82.6 ± 2.7 |
| 非トレーニング群 | 81.6 ± 4.3 | 78.6 ± 3.1 | 73.0 ± 2.5 | 73.4 ± 1.1 | 82.8 ± 2.6 |
| 血清尿素窒素 (mg/dL) | | | | | |
| トレーニング群 | 17.5 ± 1.3 | 14.1 ± 1.0 | 16.2 ± 0.8 * | 14.5 ± 0.7 | 17.7 ± 1.6 |
| 非トレーニング群 | 12.7 ± 1.6 | 12.5 ± 1.6 | 10.4 ± 0.8 | 13.5 ± 1.3 | 12.4 ± 0.9 |
| 血清浸透圧 (mOsm/Kg) | | | | | |
| トレーニング群 | 271.0 ± 1.0 | 269.8 ± 0.7 | 267.8 ± 0.7 | 270.1 ± 1.1 | 270.2 ± 1.2 * |
| 非トレーニング群 | 270.9 ± 0.9 | 269.2 ± 1.1 | 270.0 ± 2.1 | 267.1 ± 2.1 | 265.3 ± 0.4 |

*：群間で有意 ($P<0.05$) #：登山前に比べ有意 ($P<0.05$)

【考察】

本研究の目的は、ナトリウム利尿ペプチドと高地トレーニングにおける低酸素や運動ストレスとの関連性を評価し、高地トレーニングがANPおよびBNPに及ぼす影響を評価することであった。

本研究の結果として、ナトリウム利尿ペプチド値は、平地ではトレーニング群と非トレーニング群で差を認めなかったものの、高地トレーニング中にはBNP値とANP値が群間で異なっていた。また群間の違いは、BNP値では高地トレーニング後期で、ANPは高地トレーニング前期の5日目で認められた。

一方、体液バランスの指標ともなる血清レニン活性、アルドステロン値、血清浸透圧はトレーニング群と非トレーニング群で高地トレーニングに伴う違いを認めなかった。

まず、ほとんどの者でANPやBNPは正常上限値を超えていなかったため、安全面の視点からは概してトレーニング強度は適切であったと考えられる。また、高地登山や運動がナトリウム利尿ペプチドの増加を認めたとする先行研究（Bartsch et al. 1988; Perhonen et al. 1997）と一致しない部分が認められた。この理由として先行研究が標高2,000m以上で行われているのに対し、本研究が2,000m以下で行われたことがある。古くより高地滞在に関するいくつかの研究で心臓血管反応に関する研究が行われてきたが、それらは標高3,100m以上の高地で行われ、対象は非トレーニング者やせいぜい中程度のトレーニング者であった。

また、鍛錬されたエリートアスリートではさらに高い高度での結果であった (Wilber 2004)。

ANPについて、非トレーニング群で低酸素ストレスがANP分泌を刺激するとする先行研究 (Ljusegren and Andersson 1994; Toth et al. 1994) に一致する挙動を示した可能性はあったが、トレーニング群でのANPの変動は先行研究と一致しなかった。ラットの心筋組織におけるANPやBNP合成の変化は低圧低酸素環境では類似していた (Nakanishi et al. 2001) との先行研究もあるが、非トレーニング群では、低圧低酸素により刺激されることによりANPが5日目で上昇し、対照的にトレーニング群では、左心系の伸展刺激をもたらす循環血液量増加がなかったため、ANPやBNPの上昇が抑制されたと考えられた。

一方、BNPは心機能障害がある場合に上昇しやすいため、トレーニング負荷の結果として高地トレーニング後期の16日目にトレーニング群の心臓にストレスが加わった可能性がある。従って、本研究の結果からはANPとBNPの変動は、低圧低酸素負荷よりも主にトレーニング負荷に依存し、登山後のナトリウム利尿ペプチド分泌は脱水のような他の様々な要因により抑制されたと考えた。

なお、本研究ではトレーニング群と非トレーニング群の平均年齢に有意差を認めたが、年齢がナトリウム利尿ペプチドに与える影響は無視しうると考えた。というのも、先行研究では、50歳以上の健常人に対する研究では、BNPの正常値は加齢とともに増加するが、20～49歳と50～59歳の対象者でのBNPの上限基準値はほぼ同じであることを報告しているから

である (Redfield et al. 2002; Wang et al. 2002)。

ナトリウム利尿ペプチドは、低酸素及び運動に関連し、利尿効果により血液濃縮を引き起こすため、スポーツでは血液動態や脱水のストレスマーカーと考えることができ、高地トレーニング中のコンディション不良、オーバーロード、補水タイミングの評価や予測に有用となりうると考えられた。

研究の限界点として、高地トレーニング直後でのANPやBNPの変化を観察できなかったことが挙げられる。日本には高地トレーニング施設がないため、容易に高地トレーニングを行えず、多数の検体採取も容易ではない。また、海外に行くまでに飛行機内ですでに長時間の低圧低酸素負荷を受けている。しかし、今後は人工的な低圧低酸素実験環境を用いたり、高地でのトレーニングを継続して行うことにより、さらに低酸素負荷へのANPとBNPの反応を明らかにできる可能性はあるであろう。

【小括】

標高1,900mの水泳高地トレーニング中のANPとBNPの変動は、トレーニング群と非トレーニング群では異なり、ANPとBNPの変動パターンも異なっていた。トレーニング刺激の影響が低酸素ストレスによる影響よりも高いと考えられた。また、ナトリウム利尿ペプチドを用いてトレーニングや低酸素負荷を評価し、高地トレーニング中にそれをモニタリングすることにより血液動態や脱水状態を予測することが可能であると考えられた。

4.2 課題①-2 高地トレーニングが肺サーファクタントプロテインに及ぼす影響

【緒言】

近年、高地肺水腫発症とSP-Aの遺伝子多型との関連性が報告（Saxena et al. 2005）された。しかし、2,000m程度の高地トレーニングにおいて、SP-Aがどのような応答を生じるかについては、未だ明らかではない。

【目的】

2,000m程度の高地トレーニングにおけるSP-Aの応答を評価し、高地トレーニングにおける不適応の発見やコンディション評価に有用であるかを検討することを目的とした。

【方法】

対象者：

課題①-1と同様であった（表4-1-1参照）。

検体採取と分析：

高地トレーニング前（登山前）、トレーニング中（5日目、10日目、16日目）、トレーニング後（下山後5日、下山後18日）の計6回、早朝起床後空腹時に血液を採取した。シリンジを用いて肘静脈から静脈血を採取し、遠心分離した血清を凍結保存したのち検査機関にてEIA法を用いて血清SP-A値を分析した。同時に、体調日誌にて自覚症状と体温、脈拍、呼吸数、SpO₂もチェックし体調を確認した。

統計解析：

得られたデータを平均±標準誤差で表記した。各群における経時的変化について二元配置多重分散分析を行いTukeyの多重比較検定を用いた。また、各群間の比較には対応のないt検定を用いた。有意確率5% ($P < 0.05$) を統計学的に有意とした。

倫理的配慮：

本研究は筑波大学研究倫理委員会の承認を得て行われた。

【結果】

各時期におけるSP-Aの測定値は、トレーニング群において登山前：24.6±2.1ng/ml、5日目：28.6±2.0ng/ml、10日目：25.7±2.1ng/ml、16日目：27.3±2.5ng/ml、下山後5日：28.8±2.2ng/ml、下山後18日：32.4±2.8ng/ml、非トレーニング群で登山前：21.4±2.3ng/ml、5日目：21.6±2.7ng/ml、10日目：19.6±2.0ng/ml、16日目：21.0±2.7ng/ml、下山後5日：23.6±2.1ng/ml、下山後18日：25.4±2.7ng/mlであった。SP-A値の時間的変動は、トレーニング群、非トレーニング群ともに有意な変動を認めなかった。また、群間による違いについては、各測定時期でトレーニング群の方が高い平均値を示し、5日目、10日目では非トレーニング群に比べて有意に高値であった（ $P < 0.05$ ）（図4-2-1）。SP-Aの基準値は43.0ng/ml未満とされるが、下山後18日目に2名が基準値を超えていた。自覚症状との関係では、37.3度以上の発熱かつ上気道症状を認めた者がトレーニング群で1名（10日目）、非トレーニング群で1名（16日目）おり、その時点でのSP-A値はそれぞれ24.3ng/ml、34.2ng/mlであった。

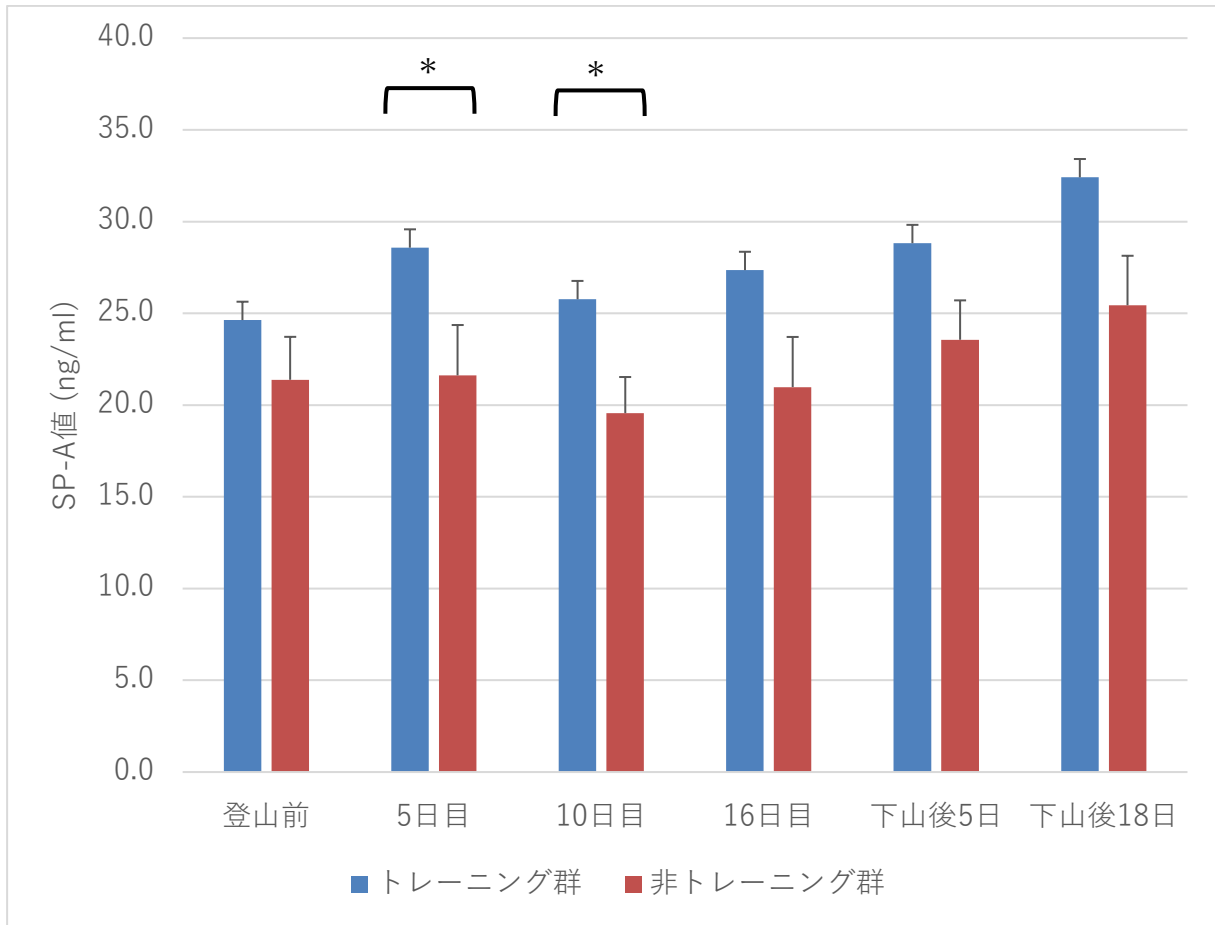


図 4-2-1：高地トレーニング前・中・後の血清 SP-A 値の変動

トレーニング群と非トレーニング群の間で5日目、10日目に有意差を認めた (*: $P < 0.05$)。

【考察】

高地で高強度のトレーニングを行うアスリートが受ける呼吸器ストレスの指標として、近年、高地肺水腫発症とSP-Aの遺伝子多型との関連性が報告（Saxena et al. 2005）された。そこで、SP-Aが2,000m程度の高地トレーニングで及ぼす影響と、高地不適応としての肺水腫や高地トレーニングのコンディション評価に有用となりうるかについて検討することを目的とした。

結果は、血清SP-A値は全体的にトレーニング群が非トレーニング群に比べ比較的高い値を示し、特に、5日目、10日目では有意に高値であった。

トレーニング群は、登山後の高地滞在中のみならず平地でも、定期的に一定の運動負荷を受けており、こうした運動負荷そのものがSP-A値に影響を与えている可能性が考えられた。さらに、高所登山直後の5日目、10日目でSP-Aが有意に高値であったことは、トレーニング群では非トレーニング群以上に低酸素負荷にさらにSP-Aの応答が増強した可能性が考えられる。SP-Aの短期的ないし長期的な経時的変動自体についての生理学的意義が不明であるものの、SP-Aの生体防御機能と関係するとすれば、下山後のコンディション設定や競技会参加時期の決定に有用となる可能性があり、そのためにはさらに長期的な観察が必要であったと考えられる。また、トレーニング群のなかには比較的SP-A高値持続した者や低値持続した者が認められた。遺伝子多型による個体差は、高地トレーニングにおける個体のト

レーナビリティやコンディション維持を予測するうえで重要な情報となりうる可能性がある。

一方、一般に高山病や高地肺水腫が生じやすい高度は少なくとも2,400m以上とされる (Sherry et al. 1998) ため、本研究での高度が低かったことや、肺胞レベルにおける生体事象を直接的に観察できるとされる気管支肺胞洗浄液中のSP-Aでなく、血清SP-A値であることが、測定値解釈の修飾因子としてあげられる。したがって、SP-Aの変動と運動、特に高地トレーニングとの関連については今後も詳細に検討する余地が残されている。

自覚症状との関連では、コンディションの著明な不良を示したものが乏しかったためか SP-Aとの明らかな関係は認めなかった。

【小括】

高地トレーニングにおけるコンディション評価のため、肺サーファクタントプロテインであるSP-Aの変動について検討した。高地登山直後にトレーニング群は非トレーニング群に比して有意に高値を示し、高地トレーニング直後の運動負荷がSP-Aに影響を及ぼす可能性が示唆された。

4.3 課題①-3 高地トレーニングが呼吸機能に及ぼす影響

【緒言】

低圧低酸素環境に対する不適応として、高山病や高地肺水腫が知られている。高山病や高地肺水腫などの病態は標高2,400m以上の登山で生じる (Sherry et al. 1998) とされており、そのため、標高2,400m以上への登山の際の標高の変化と関連した呼吸機能の変化や登山直後の呼吸機能の変化を調査した研究は多く認められる (Wolf et al. 1997; Hashimoto et al. 1997; Pollard et al. 1996; Sharma et al. 2007)。しかし、平地生活者が標高2,400mより低い2,000m程度の中等度の地点に一定期間滞在し高地トレーニングを行った際の呼吸器関連指標の変化についてはほとんど報告されていない。したがって、高地トレーニングでのコンディショニングでは、息切れなどの呼吸症状を評価するにあたり、トレーニング高度での呼吸機能の変化を知ることが重要と考えられる。

【目的】

普段、平地で生活している水泳選手が2,000mの高地トレーニングを行った場合の呼吸器関連指標について呼吸機能検査により評価することを目的とした。

【方法】

対象者：

2011年に中華人民共和国雲南省昆明市で行われた高地トレーニングに参加した大学生水泳選手15名 (男子11名、女子4名) を対象とした。対象者特性は年齢 (平均±標準偏差) :

19.5±1.3歳、身長：171.5±7.4cm、体重：66.5±5.8kg であった。学年は1年生：10名、2年生：2名、3年生：2名、4年生以上：1名であり、3年生の男子1名が登山前の呼吸機能検査で1秒率が65%と閉塞性障害を示していた。

測定と分析：

対象者に対して、CHEST社製 HI-105 を用いて努力性肺活量、1秒量、1秒率(G)、ピークフロー値を、登山前（高地トレーニング開始3日前）、登山2日目、4日目、10日目、13日目に測定した。トレーニング地への移動のため、高地トレーニングは登山2日目より開始された。測定は起床直後、朝食前かつ練習前に行い、運動および食事の因子を除いて行った。なお測定は13日目で終了としたが、高地トレーニングは21日目まで行われた。

統計解析：

統計学的解析にはIBM SPSS Statistics ver.20を用いて、測定値を平均値±標準偏差で表した。反復測定一元配置分散分析を行い、Mauchlyの球形検定が有意な場合にはGreenhouse-Geisserの ϵ 修正を行った。多重比較にはTukeyの検定を用いた。 $P<0.05$ を有意とした。

【結果】

高地トレーニング中の努力性肺活量および1秒量の変動を図4-3-1に、1秒率(G)およびピークフロー値の変動を図4-3-2に示す。登山前と比較して2日目～13日目まで、努力性肺活量と1秒量、ピークフロー値の有意な低下を認めた ($P<0.05$)。努力性肺活量の平均値は13日目で回復に転じ登山前からの減少幅は13%であった。1秒量の平均値は登山10日目から回復に転じ11%の減少幅であった。一方、1秒率は登山前と比較して10日目のみ有意な変化を認めた。なお、気圧変化に伴う呼吸機能検査機器の作動についても確認したが、正常に作動していた。

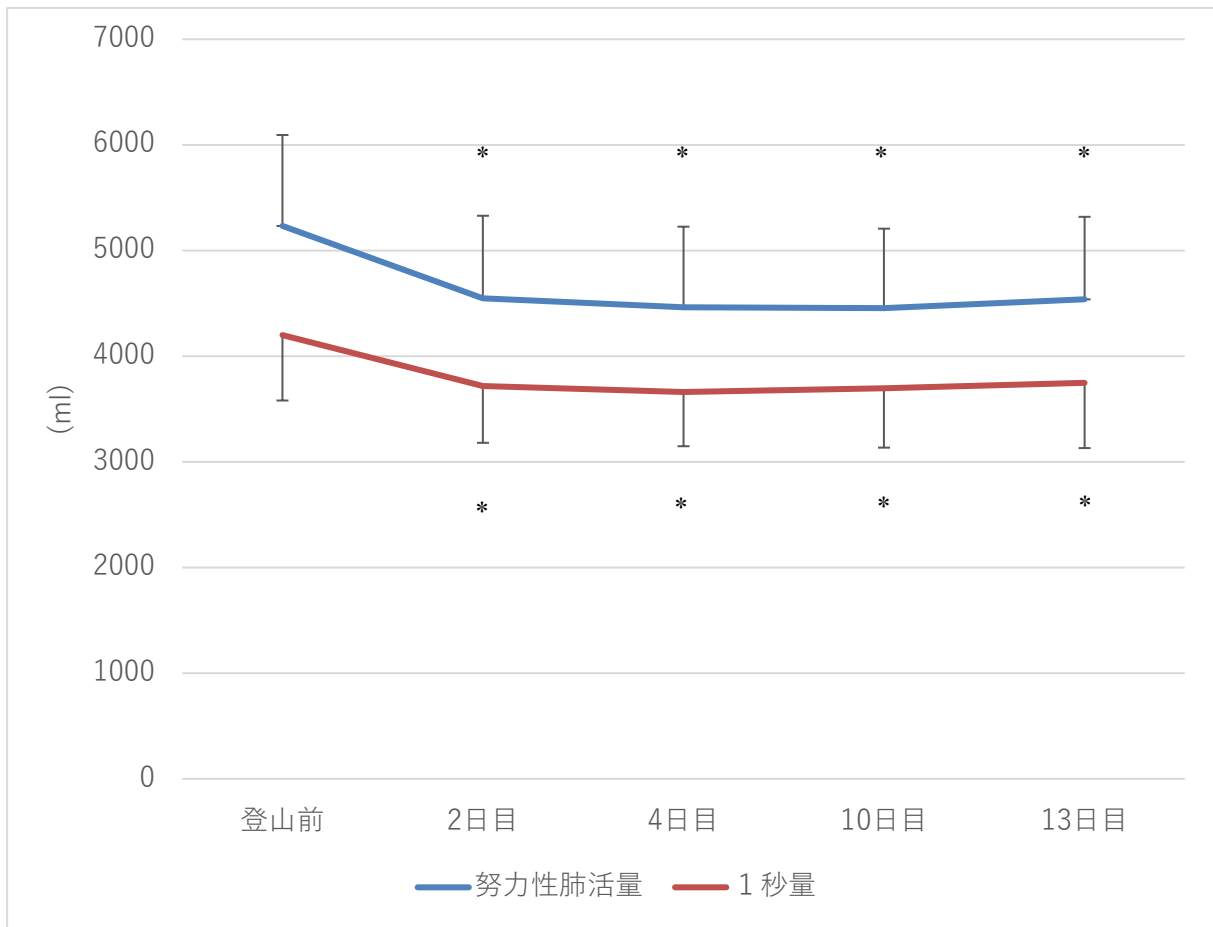


図 4-3-1：高地トレーニング中の努力性肺活量および1秒量の変動

*：登山前に比べ有意差あり

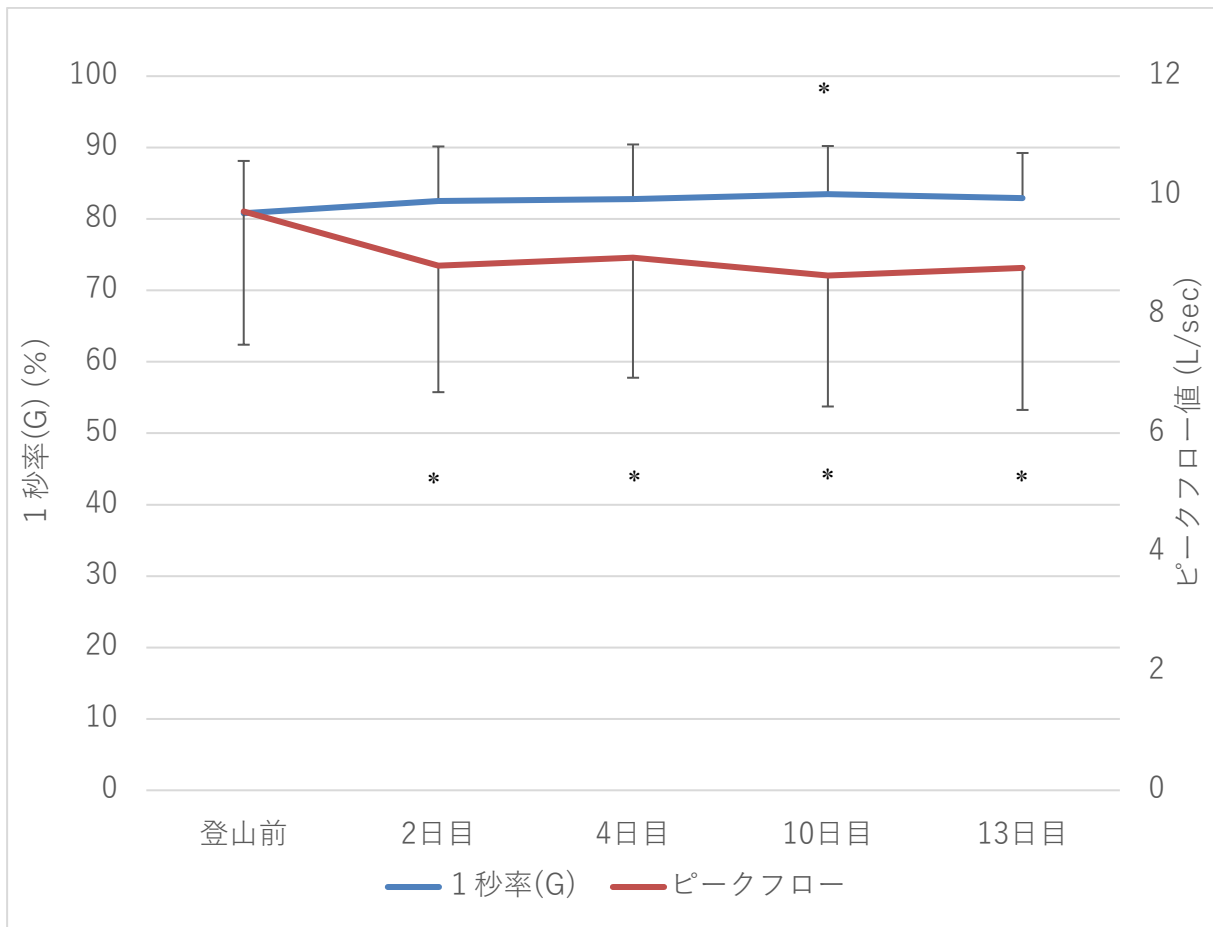


図4-3-2：高地トレーニング中の1秒率およびピークフロー値の変動

*：登山前に比べ有意差あり

【考察】

呼吸機能検査の結果として、努力性肺活量と1秒量、ピークフロー値が登山前と比較して登山後に低値を示した一方で、1秒率は10日目のみ変化を認めた。一般に、肺活量が予測肺活量の80%以下に低下した場合には拘束性障害があると判断されるが、その代表的疾患として間質性肺炎、肺線維症、肺水腫、重症筋無力症や筋萎縮性側索硬化症などの神経筋疾患が挙げられ、間質の浮腫や肥厚、呼吸筋力の低下が拘束性障害の要因となる。また、1秒率やピークフローの低下は閉塞性障害に関連し、気管支喘息や慢性閉塞性肺疾患で認められる。今回の結果からは、主に呼吸機能が拘束性障害の方向へ変化したこととなるが、その原因としては、間質の浮腫や肥厚、トレーニング疲労による呼吸筋力の低下や外気圧低下に伴う吸気量の減少を考えた。

高度上昇に伴いピークフロー値は上昇もしくは一定であるが努力性肺活量が低値を示した先行研究とも一致した結果であったが、これらの先行研究では肺動脈拡張と間質の浮腫により肺血流が増加して高地肺水腫が発生し呼吸機能が障害された可能性を指摘している（Wolf et al. 1997; Vahid et al. 2008; Selland et al. 1993）。

今回、登山直後の2日目という短期間で肺活量低下が認められ、不顕性に高地肺水腫が発症した可能性は考えうる。しかし、高地肺水腫の診断基準となる、安静時呼吸困難、咳嗽、全身脱力感、胸部圧迫感といった症状のうち2つ以上、少なくとも片肺での湿性ラ音・喘鳴、チアノーゼ、頻呼吸、頻脈といった所見のうち2つ以上を両方満たすもの（Hackett PH

et al. 1992) を、期間中に満たした者はいなかった。また、間質性肺炎や肺線維症などの疾病が発症した可能性は、変化が全員に生じていることから考えにくい。

次に、呼吸筋力低下の可能性については、低圧・低酸素環境により骨格筋の筋力・筋活動が低下することで呼吸筋力も低下し、努力性肺活量が低下した可能性を示唆する報告がある (Deboeck et al. 2005)。しかし、先行研究では酸素濃度10%で実験が行われたのに対し、標高2,000mの酸素濃度が約16%であることを考慮すると、そこまで低圧・低酸素環境が呼吸筋力低下に影響を及ぼしたかについては不明である。

また、吸気量が胸腔内圧と外気圧の差によって規定されることから、外気圧低下に伴う吸気量減少の可能性も考えられる。しかし今回、吸気量を測定していなかった。

高地トレーニング中の努力性肺活量や一秒量は低下を認めたものの、それぞれ13日目や10日目から下げ止まりを認めた。一時的な肺水腫があったとすれば、これが軽減して呼吸機能が改善された可能性や、ラットに対して80日間の高地環境曝露を行ったところ横隔膜の筋線維増生が認められた (小林ら 1991) との先行研究から、呼吸筋がトレーニングされて呼吸機能が回復傾向に向かった可能性も考えられる。

研究の限界点として、肺水腫評価のための胸部X線での画像評価や肺拡散能などの精密肺機能検査、高地トレーニング終了後、平地に戻った時点の呼吸機能検査を行えず、低下した機能の回復を観察できなかったこと、練習スケジュールにより一定の間隔で測定ができなかったことなどが挙げられる。

また、アスリート対象に標高約2,000mで一定期間滞在して呼吸機能測定を行った報告が見当たらないため、呼吸機能で高地トレーニングのコンディション評価を行うためには、高地トレーニング後の平地での呼吸機能のフォローアップや、呼吸筋力の指標ともなりうる吸気量や口腔内圧測定による呼吸筋力などを測定し、呼吸機能変化の機序をさらに検討する必要がある。

【小括】

標高2,000m程度の高地トレーニングでの競泳選手の呼吸機能検査を行い、トレーニング時の変化を観察した。その結果、努力性肺活量や1秒量の低下を認め、その機序として高地肺水腫の発症、外圧低下による吸気量の減少、呼吸筋力低下などの可能性が考えられた。

4.4 課題② 高地経験が唾液分泌型免疫グロブリン A に及ぼす影響

【緒言】

アスリートは高地トレーニングを通じて平地では得ることのできない低酸素負荷を得ることができ一方、鼻水や咽頭痛などの感冒や呼吸器症状、あるいは下痢などの消化器症状が比較的多く認められることが先行研究で示唆されてきている (Bailey and Davies 1997; Bailey et al. 1998)。またこれらの症状から容易に体のコンディションを崩し、パフォーマンス低下につながる可能性が十分ある。一方、これらの症状の一部は高山病でもよく認められるため、感染症か高山病による症状かの鑑別が困難であることもしばしばある。Baileyらは、コルチゾールなどのストレスホルモンの増加が高地トレーニング中のコンディション低下の一つの要因であることを示唆している (Bailey and Davies 1997) が、高地トレーニングが免疫系に及ぼす影響については未だ明らかとは言えない。

また、水泳ではピークパフォーマンスが求められる競技会直前に高地トレーニングが行われてきたため、高地トレーニング中の身体的コンディションを維持することは大変重要である。しかし近年、なかでも日本の競泳トップアスリートでは、高地トレーニングが競技会直前のみならずトレーニング期にもしばしば行われ、年間水泳トレーニングプログラムのひとつとして1シーズン中に何度も高地トレーニングを行うことがまれではなくなった。このように、複数回行う場合のトレーニング間隔やその後のトレーニング強度の調整は安全で効果的なトレーニングの成功には重要である。

唾液分泌型免疫グロブリンA (SIgA) は粘膜免疫システムにおける主要な免疫グロブリンである。高強度運動は粘膜免疫の作用を抑制し、SIgAの分泌を抑制することが報告されているが、低圧低酸素環境に繰り返し曝露されたときのSIgAの変動については明らかではない。

【目的】

水泳高地トレーニングがSIgAに及ぼす影響と高地トレーニング経験がSIgA分泌に及ぼす影響について検討することを目的とした。

【方法】

対象者：

標高1,900mの中華人民共和国雲南省昆明市で行われた水泳の高地トレーニング参加者を対象として、以下の3群に分類した。12月中に17日間にわたり行われた初回の高地トレーニングの大学水泳選手参加者9名（男性：女性=7：2）を初回群とした。同時期に水泳選手に同伴した5名の健常人を非トレーニング群とした。

次に、翌年12月から24日間の間隔を空けて2回の反復した約3週間の高地トレーニングが行われた。この反復高地トレーニングの2回目に参加した9名の大学生水泳選手（男性：女性=4：5）を反復群に割り当てた。表4-4-1に各群のプロフィールを示す。初回群と反復群のトレーニング量について図4-4-1に示す。

表4-4-1：各群のプロフィール

| | 初回群 (9名) | 反復群 (9名) | 非トレーニング群 (5名) |
|---------|-------------|-------------|------------------|
| 年齢 (歳) | 19.6 ± 1.2 | 20.3 ± 1.1 | 24.6 ± 3.6 |
| 身長 (cm) | 169.9 ± 4.7 | 173.2 ± 8.6 | 169.2 ± 6.4 |
| 体重 (kg) | 64.1 ± 4.1 | 64.9 ± 9.4 | 67.6 ± 11.0 |

* 初回群と非トレーニング群で $P < 0.05$

** 反復群と非トレーニング群で $P < 0.05$

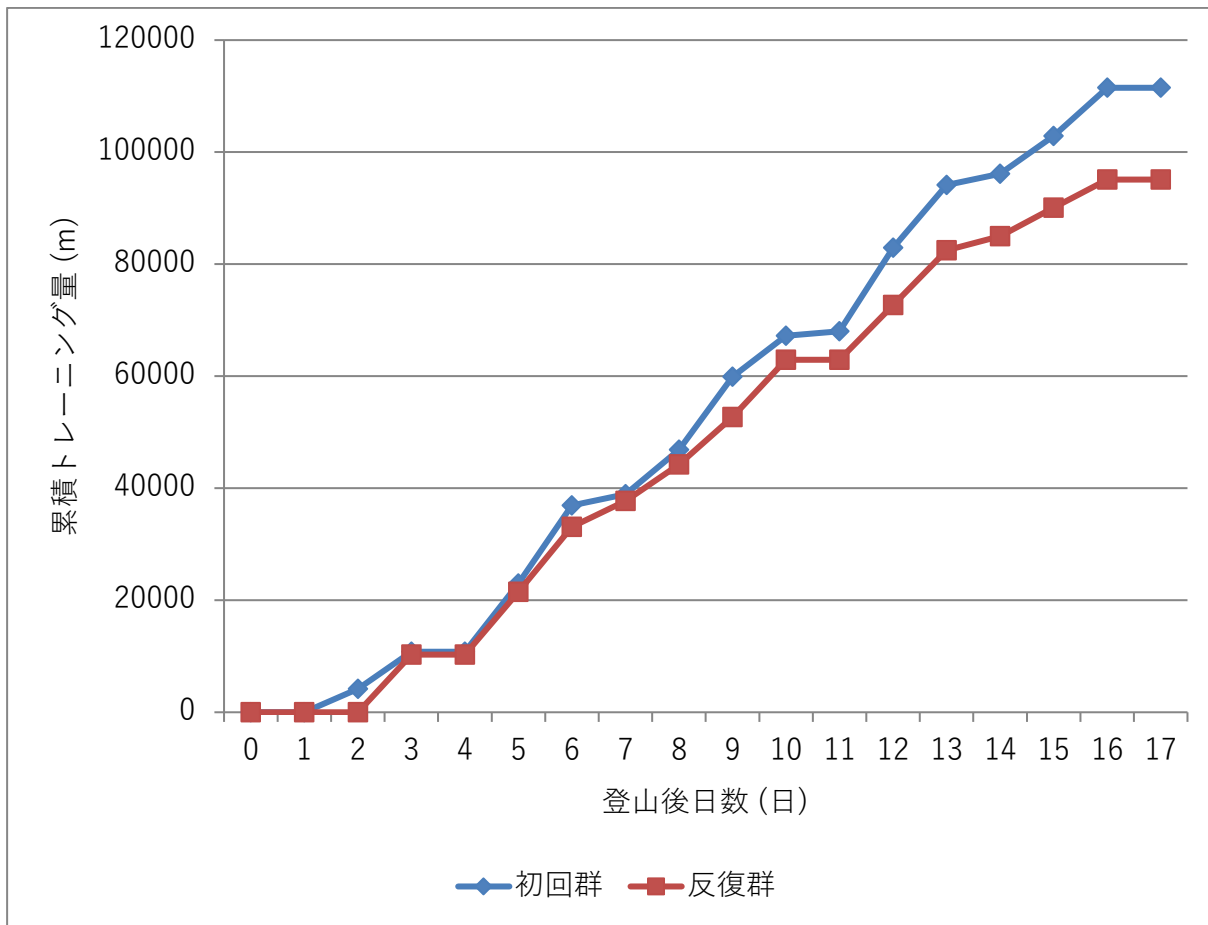


図4-4-1：初回群と反復群の高地における累積トレーニング量

検体採取と分析：

唾液を高地トレーニング直前（0日目）と高地トレーニング中は2日おきに計8回（2日目から16日目）の全9回採取した。早朝空腹時にSalivette（Sarstedt AG & Co、Nümbrecht、Germany）を用い、5分間の安静ののちに各個人がSalivetteに含まれる綿球を1秒間隔で1分間咀嚼した。咀嚼によって唾液が含まれたSalivetteの綿球から唾液を抽出するために3000回転で10分間の遠心分離を行い、抽出された唾液重量を計測し、1分間あたりの唾液分泌速度を求めた。その後、anti-secretory component antibodyとanti-IgA antibodyを加え、ELISA法により唾液中のSIgA濃度を求めた。

SIgA濃度よりSIgA分泌速度を以下の式により算出した。

$$\text{SIgA分泌速度}(\mu\text{g}/\text{min}) = \text{唾液分泌速度}(\text{ml}/\text{min}) \times \text{SIgA濃度}(\mu\text{g}/\text{ml})$$

唾液に加え血液についても高地トレーニング前、中、後に採取した。血液サンプルは2000回転、10分間の遠心分離による血清抽出ののち、RIA法による血清コルチゾール値とturbidimetric immunoassay法による血清IgA値を評価し、唾液との比較に用いた。

統計解析：

得られたデータは特に表記のないかぎり平均±標準誤差とした。プロフィールの群間差については一元配置分散分析を行った。唾液分泌速度とSIgA指標の変化について、反復測定一元配置分散分析を行い、事後検定としてBonferroni法を用いた多重比較を行った。統計解析

ソフトはSPSS Statistics Ver. 19.0.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA, 2010) を使用し、有意確率5%未満($P < 0.05$)を有意とした。

倫理的配慮：

すべての被験者から書面によるインフォームド・コンセントを取得した。また、研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得て行われた。

【結果】

各群の唾液分泌速度、SIgA濃度、およびSIgA分泌速度を図4-4-2～図4-4-4に示す。

唾液分泌速度は反復群と非トレーニング群で有意差を認めた。登山後唾液分泌速度は徐々に低下し、0日目に対して、12日目を除く4日目から16日目で低下した。

SIgA濃度変動について、反復群のSIgA濃度は初回群や非トレーニング群に比べて有意に高値を示した。経時的にSIgA濃度は高地到着後速やかに減少し、徐々に回復した。0日目と比べて2日目と4日目のSIgA濃度は有意に低値であり、14日目および16日目におけるSIgA濃度は有意に4日目と比較して高値であった。

SIgA分泌速度の変動については、反復群は初回群および非トレーニング群と比較して有意に高かった。時間的变化には有意差を認めなかった。

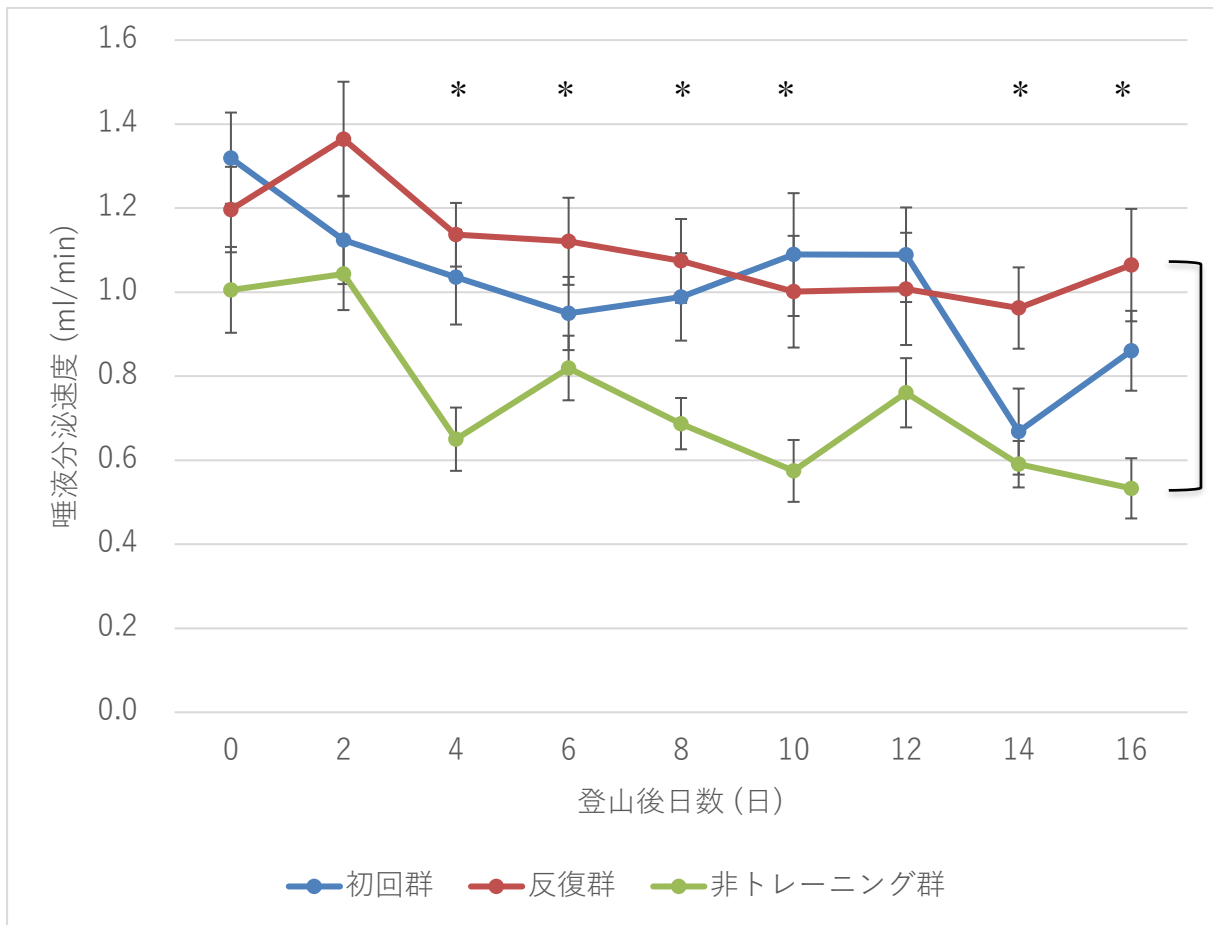


図4-4-2：唾液分泌速度の変化

反復群と非トレーニング群の間に有意差を認めた（#： $P < 0.05$ ）。唾液分泌速度は登山前（0日目）に比べて12日目を除く4日目から16日目まで有意に低値を示した（*： $P < 0.05$ ）。

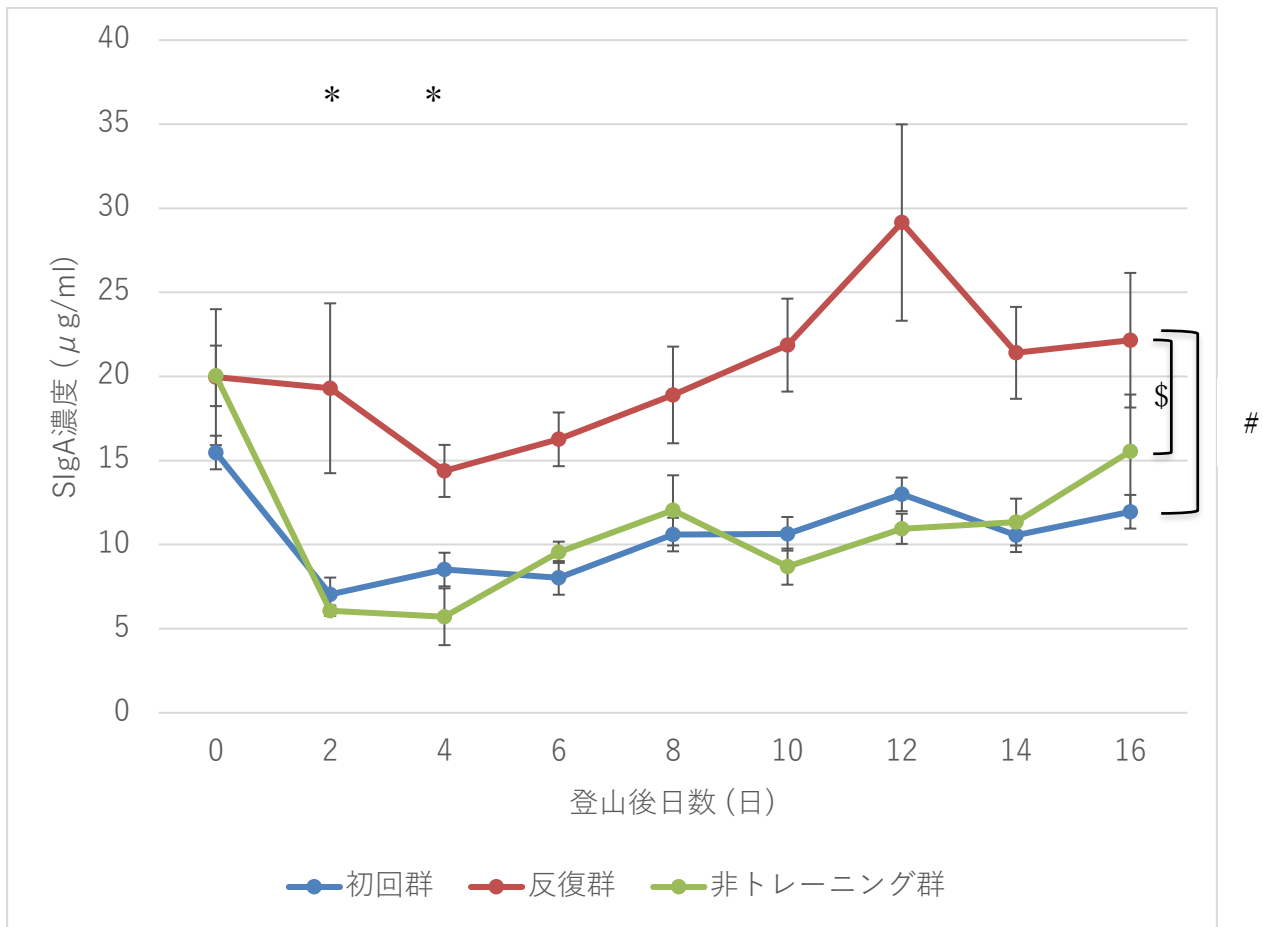


図4-4-3：唾液分泌型免疫グロブリンA濃度の変化

反復群のSIgA濃度は初回群 (# : $P < 0.05$) や非トレーニング群 (\$: $P < 0.05$) よりも有意に高かった。

2日目と4日目のSIgA濃度は登山前 (0日目) と比較して有意に低値であった (* : $P < 0.05$) 。

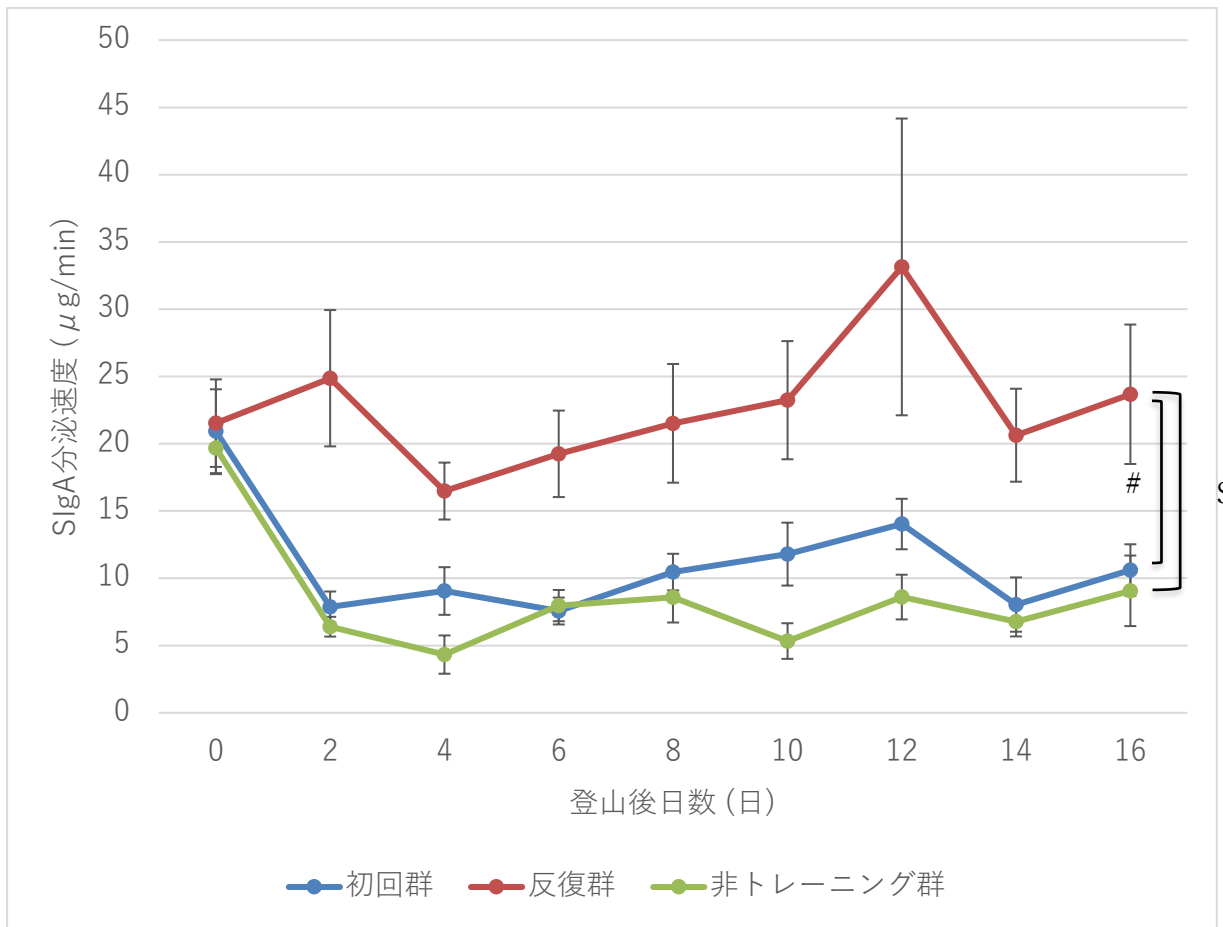


図4-4-4：唾液分泌型免疫グロブリンA分泌速度の変化

反復群のSIgA分泌速度は初回群（#： $P < 0.05$ ）や非トレーニング群（\$： $P < 0.05$ ）よりも有意に高かった。

SIgA分泌速度は時間経過では変化を認めなかった。

【考察】

通常行われる約2,000m程度の高度における水泳高地トレーニングでの局所口腔粘膜免疫に及ぼす影響を、繰り返す高地トレーニング、すなわちアスリートの高地トレーニング経験の違いにより異なるかを研究課題とした。唾液腺から分泌されるSIgAは最も一般的な口腔粘膜免疫システムであり、SIgAはアスリートがトレーニング現場で自己の免疫学的コンディション評価を行うための有用なマーカーとされてきている (Gleeson and Pyne 2000; Moreira et al. 2009; Neville et al. 2008)。しかしながら、高地トレーニング中のSIgAの応答を検討した報告はまだまだ少なく (Tiollier et al. 2005)、特に、繰り返す高地トレーニングによるSIgAの応答について評価した研究がなく、最初の研究である。そこで、高地トレーニングの有無による違いを初回群と非トレーニング群で評価し、高地トレーニング反復経験の違いを初回群と反復群による比較で検討した。

唾液分泌速度に関して、反復群と非トレーニング群の間に有意差が認められたが、初回群と反復群の間には認められなかった。また、唾液分泌速度は0日目に対して12日目を除く4日目から16日目で減少した。

唾液腺は交感神経線維および副交感神経線維両方により支配されており、多様な神経伝達物質やホルモンが異なる受容体や唾液腺を刺激して反応もさまざまである (Culp et al. 1991; Humphrey and Williamson 2001)。反復群と非トレーニング群で唾液分泌速度が異なる理由の一つとして、初回群や反復群などのよくトレーニングされたアスリートでは安静時には

交感神経系よりも副交感神経系が優位に働くことが考えられる。初回群および反復群と比較して非トレーニング群の平均年齢は有意に高かったが、唾液腺が15歳までに十分発達するとされている（Crossner 1984）ことに加え、唾液分泌速度とSIgA濃度には有意な逆相関があり、7歳未満の小児は7歳以上の小児や成人よりも低いSIgA濃度であった（Kugler et al. 1992）とする先行研究から、本研究ではすべての研究対象者が15歳以上であり、群間の年齢差は唾液分泌速度やSIgAには影響しないと考えた。

一方、本研究では唾液分泌速度は登山後数日で徐々に減少し、高地トレーニング中比較的低値を維持していた。高度4,350mで2日間の急性低酸素曝露が安静時および運動後の平均唾液量の増加をもたらすという報告（Pilardeau et al. 1990）もあるが、高地がもたらす低圧低酸素ストレスは交感神経系を刺激するとされ、高度4,300mのPikes Peak山頂で得られた研究では、高地での免疫機能調節に α および β アドレナリン構造物の強い関与があり、初回曝露後数週間持続し、急性高地曝露に伴い特にIL-6レベルは主に β アドレナリン刺激を介して上昇し、 α アドレナリン活性化の結果として数週間にわたり維持される（Mazzeo 2005）。したがって、本研究の高度が1,900mと低く異なること、さらにその他の要因として海外で行う高地トレーニングという精神的、環境ストレスの影響や、登山後急性期に観察される脱水により生じる血液濃縮が唾液分泌速度の比較的低値を説明しうるが、低酸素ストレスへの反応として生じた利尿による脱水は長く続かないため、唾液分泌速度の減少は単に脱水に影響されているわけではないと考えられる。

SIgA濃度は全群において登山直後に減少し4日目以降徐々に回復傾向を認めた。その傾向は、2,500m以上と1,200mのLH-TLトレーニングで、LL-TLトレーニングと比較してSIgA濃度がより減少し、その減少率は登山前の約50%であったとのTiollierらの報告（Tiollier et al. 2005）とも一致した。しかし、トレーニングによる運動負荷に加えて低酸素負荷が加わった場合、運動負荷のみまたは低酸素負荷のみと比較して免疫機能に対して更に大きな影響が認められた（Mazzeo 2005）とする報告や、高地トレーニングによる低圧低酸素負荷への暴露がSIgAの低下を引き起こしうる（Tiollier et al. 2005）との報告とは一致しない点もあった。

とりわけ、初回群と反復群の唾液分泌速度の経時的変化には違いがなかった一方で、反復群でのSIgA濃度は初回群や非トレーニング群に比べ一貫して高かった。初回群と反復群の応答の違いは、トレーニング量（質と量）に加えて、周囲の環境、個人の要因などによっても説明しうるが、少なくとも今回のトレーニング量はほぼ同等であり、反復群が行った高地トレーニングはオリンピック大会に向けた国内選考会の準備として行われたため、トレーニングの質は初回群よりも反復群で高かったはずであった。従って、機序については不明と言わざるを得ないが、初回群よりもSIgAの低下を認めなかった反復群の応答は、24日間と比較的短い間隔で反復する高地トレーニングによる影響の可能性が考えられた。

SIgA分泌速度は登山後に統計学的な変化を認めなかったが、反復群ではその値が初回群および非トレーニング群と比較して一貫して高値であった。SIgA分泌速度は唾液分泌速度とSIgA濃度の積により決定され、実際的な局所粘膜免疫を表すこととなる。SIgA分泌速度は

登山直後の高地トレーニング前期では主にSIgA濃度の減少の影響を受け、その後は唾液分泌速度低下の影響を強く受けたと考えた。

トレーニングや競技時の、暑熱、湿度、寒冷、高地、大気汚染などの悪い環境への初期曝露を制限し、適切な環境で馴化することにより、環境によるストレスの影響を減らすことができよう (Pyne et al. 2000)。競技会前にも高強度のトレーニングに取り組むエリートアスリートの細胞性免疫活性としてのneopterin/creatinine比は、変化しないかあっても中等度までの増加であったとの報告がある (Jakeman et al. 1995)。高地トレーニングの経験やトレーニング間隔にかかわらず、高地トレーニングでは、アスリートの免疫学的コンディションにも注意を払うべきであると考えられる。

【小括】

繰り返す高地トレーニングがSIgAの反応に及ぼす影響について検討した。SIgAは登山後に低下し、トレーニング経験により異なっていた。トレーニング開始直後の急性期では、SIgA濃度の低下が、その後SIgA分泌速度の低下が優位であった。SIgAは、高地トレーニング中の免疫学的コンディション評価の指標となりうると考えられた。

4.5 課題③ 高地トレーニングコンディション評価のための問診票の有用性

【緒言】

高地トレーニング中の選手のコンディション維持はパフォーマンス向上のためには必須であるが、一方で、上気道症状や胃腸症状などコンディション低下を起こしやすいこともよく知られている (Wilber 2004)。特に、主要競技会を直後に控えた高地トレーニングでは、選手のコンディション維持と競技成績が密接に結びつく可能性から、コンディション管理が重要であることは言うまでもない。また、高地の低圧低酸素ストレスへの不適應である高山病や高地肺水腫は主に2,400m以上の登山で生じるといわれるが、Sherpa (脚注：ヒマラヤ登山で荷物運搬や案内などを務める人) への調査では高山病症状の一つである頭痛の増悪因子に半数のものが運動を挙げており (Serrano-Duenas 2005)、水泳選手が通常行っている1,800~2,300mの中等度の高度にあってもトレーニングにより高山病症状を生じる可能性は否定できないと考えられる。さらに、高地では周囲に医療機関が乏しいという地理的条件が医学的検査等の客観的身体評価を困難としており、現地での診断は症状により臨床的に行わざるを得ないが、高山病症状が感染症症状とも重複するためそれらの区別を明確にしにくい (Walsh and Whitham 2006) という指摘もある。従って、コンディション低下に及ぼす機序そのものも、いまだ明らかとはいえず、現場でのコンディション評価が非常に難しい現状がある。高地トレーニング現場で施行可能なコンディション評価方法として、従来、心拍数や体重などの変化や、POMS (Profile of Mood State) などの心理テスト、高地トレーニン

グ中の食事、栄養、睡眠、疲労度、トレーニングの状態等についての質問紙調査や選手の日誌から判定する方法がとられてきた（渡部ら 1991; 渡部ら 1992; 鳥居ら 1993）。しかし、これらを数量客観的に評価した報告、疾病症状と高地によるコンディション不良を分別して評価した報告は認められない。

【目的】

そこで本研究は、大学生水泳選手が行った高地トレーニング中に、自覚的指標、疾病症状、他覚的指標から構成される問診票を配布し、コンディション評価のための問診票の有用性を検討すること、さらに高地トレーニング経験の有無がコンディションに及ぼす影響を評価することを目的とした。

【方法】

対象者：

2006～2008年にかけて大学水泳部で計3回の高地トレーニングが行われた。トレーニング地は中華人民共和国雲南省昆明市で、標高約1,900mである。

コンディション不良者の問診票の推移と血清CRP値の関連性の検討：

まず、2006年12月19日～2007年1月4日にかけて行われたトレーニング合宿①において、大学生水泳選手9名（トレーニング群）およびその同伴者健常人5名（非トレーニング群）の計14名を選定して問診票を配布し、トレーニング期間中に医療機関を受診した者、またはトレーニングを中断せざるを得ない体調不良を示した者を明らかなコンディション不良と考

えて、トレーニング中ほぼ5日間隔で測定された血清CRP値と比較してコンディション評価としての問診票の有用性を検討した。

高地トレーニング経験が問診票評価によるコンディションに及ぼす影響：

次に、2007年12月20日～2008年1月9日にかけて行われたトレーニング合宿②において水泳選手および同伴者に問診票を配布しコンディション評価を行った。水泳選手33名のうち、高地トレーニング経験が初めての者14名（男性8名、女性6名）を初回群、前年に引き続き複数回経験した者19名（男性12名、女性7名）を反復群、同伴者など運動を行わず高地滞在のみの者3名（男性1名、女性2名）を非トレーニング群とした。

非トレーニング群を参照しつつ、初回群と反復群の比較により高地トレーニング経験がコンディションに及ぼす影響を検討した。

問診票は毎朝、トレーニング前に記載された。用いられた問診票の一部を図4-5-1に示す。大学ラグビー部の2006年夏期合宿で使用されたコンディション評価のための問診票(山内ら 2009)をもとに高地トレーニングの特性も考慮して作成した。自覚的指標、疾病症状、他覚的指標の3指標で構成され、自覚的指標として、睡眠状況、食欲、疲労感、自覚されるコンディション（全体的な自覚的コンディション）の4項目、身体症状として、頭痛、腹痛、咽頭痛など12項目、他覚的指標として早朝安静時の脈拍、経皮的動脈血酸素飽和度（SpO₂）を分析した。自覚的指標は程度に応じた4～5段階の選択式であり、スコアが低いほどコンディション良好、高いほどコンディション不良となるように設定した。毎日のチェ

ックされた身体症状の個数を調べ、1個を1として素点としてスコア化するとともに、疾病症状について、先行研究の症状頻度 (Jackson et al. 1962; Droma et al. 2006) をもとに、高山病症状、上気道症状、胃腸症状に関連する身体症状項目を抽出した。各症状における各身体症状項目の出現頻度から重み付けを行い、これらを加算してスコアを計算した。重み付けの比率は症状の出現率に応じて、高山病症状については頭痛 (40%)、胃腸症状 (40%)、めまい (20%) とした。上気道症状の場合、咽頭痛、鼻汁・鼻つまりが100%、頭痛、悪寒、咳が80%、熱感 (50%)、関節痛 (20%) とした。胃腸症状の場合は、下痢、腹痛、吐き気・嘔吐について100%とした。この重み付けスコアについて、トレーニング合宿①ではコンディション不良者について個別に計算し、トレーニング合宿②では日毎に初回群と反復群の平均スコアを算出した。

該当箇所をひとつ選択する質問項目

| 睡眠状況 |
|--------------|
| 1. 快 |
| 2. やや快 |
| 3. ふつう |
| 4. やや不快 |
| 5. 不快 |
| 食欲 |
| 1. 食欲あり |
| 2. ふつう |
| 3. やや食欲なし |
| 4. 食欲なし |
| 疲労感 |
| 1. 疲労感なし |
| 2. 疲労感ほぼなし |
| 3. ふつう |
| 4. やや疲労感あり |
| 5. かなり疲労感あり |
| 自覚されるコンディション |
| 1. コンディション良 |
| 2. やや良 |
| 3. ふつう |
| 4. やや不良 |
| 5. 不良 |

該当箇所をすべて選択する質問項目

| 身体症状 |
|------------|
| 1. 頭痛 |
| 2. 下痢 |
| 3. 腹痛 |
| 4. 悪寒 |
| 5. 熱感 |
| 6. 咽頭痛 |
| 7. 関節痛 |
| 8. 鼻汁・鼻つまり |
| 9. 吐きけ・嘔吐 |
| 10. 睡眠障害 |
| 11. 咳 |
| 12. 痰 |

図4-5-1：問診票に含まれている項目（自覚的指標と疾病症状）

その他に他覚的指標として早朝安静時のSpO₂値と脈拍数などが含まれていた。

統計解析：

統計学的検討について、得られたデータのうち欠損値は自覚的指標項目で4.8%、他覚的指標では10.8%あり、これらの欠損値については各変数の中央値、平均値と最頻値をもとめ、時系列上の欠損値前後の測定値と対照し、全体的変動の最小となる値を代表値として処理した。自覚的指標については各群について中央値を示した。初回群と反復群の差についてMann-Whitney's U testを行い、 $P < 0.05$ を有意とした。疾病症状スコアは、各日の重み付け平均スコアを算出した。脈拍とSpO₂値については、得られた値は平均値±標準偏差で表記した。初回群と反復群の比較については、Welchの検定を併用し関連のないt検定を用いて評価し、 $P < 0.05$ を有意とした。各群の時間内変動については、一元配置分散分析を行い多重比較にはTukeyの検定を用いた。統計分析には、エクセル統計2006（社会工学システム、東京）を使用した。

倫理的配慮：

なお、本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得て実施した。研究対象者に対して研究の目的および測定内容、方法を口頭および書面で十分に説明し、書面で同意を得た。

【結果】

コンディション不良者の問診票の推移と血清CRP値の関連性の検討：

トレーニング合宿①において明らかなコンディション不良を示した者は、水泳選手では上気道症状1名（登山後10～11日目）、胃腸症状2名（ともに4～5日目）の3名であった。また、同伴者1名が13～16日目に上気道症状を示した。各事例における問診票疾病症状と血清CRP値の推移を図4-5-2a～2dに示す。疾病症状スコアと臨床所見はいずれも一致しており、事例2、事例3の5日目、事例4の16日目では症状悪化時期に血清CRP値も上昇していた。事例2や事例3、事例4の16日目で症状スコアと血清CRP値の同期を認めた。

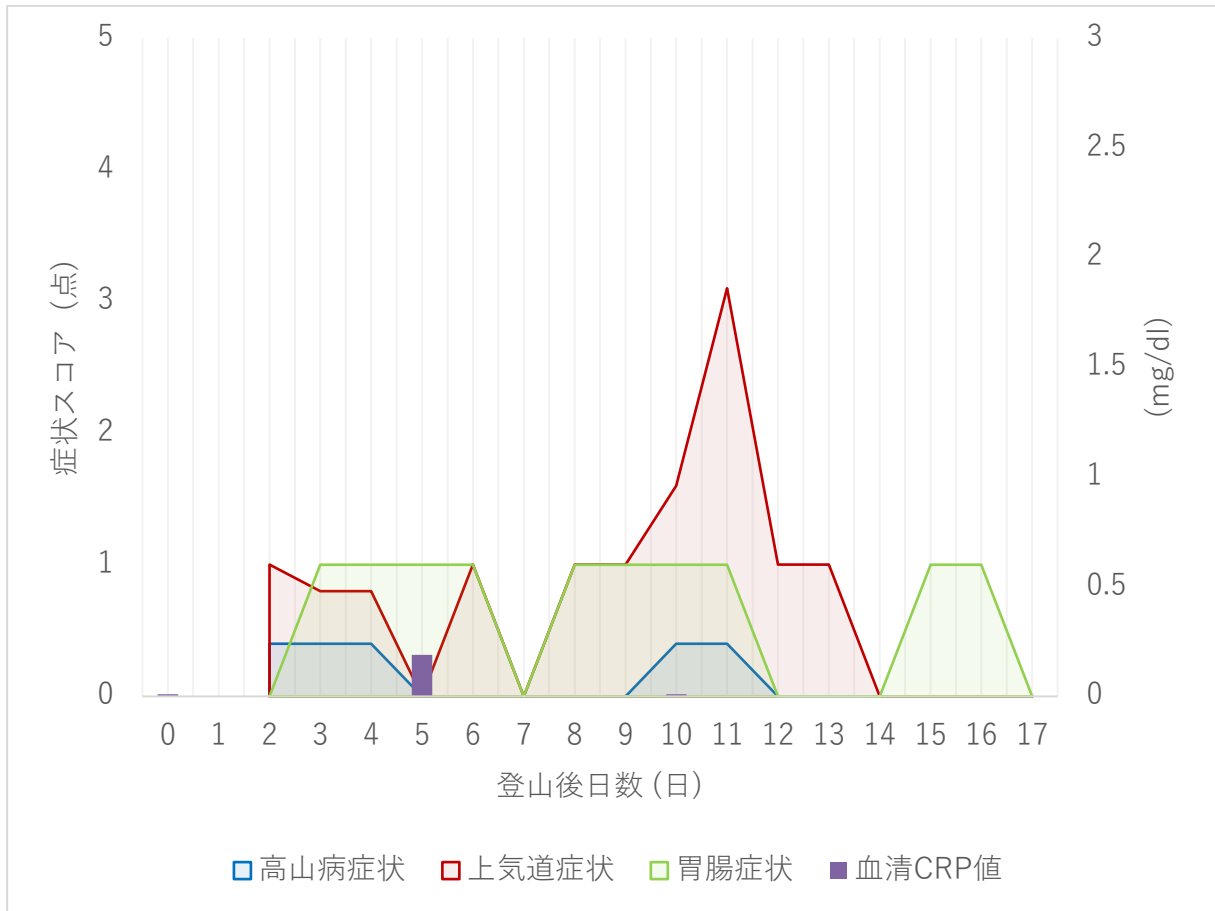


図4-5-2a：コンディション不良者（事例1）の問診票疾病症状と血清CRP値の推移

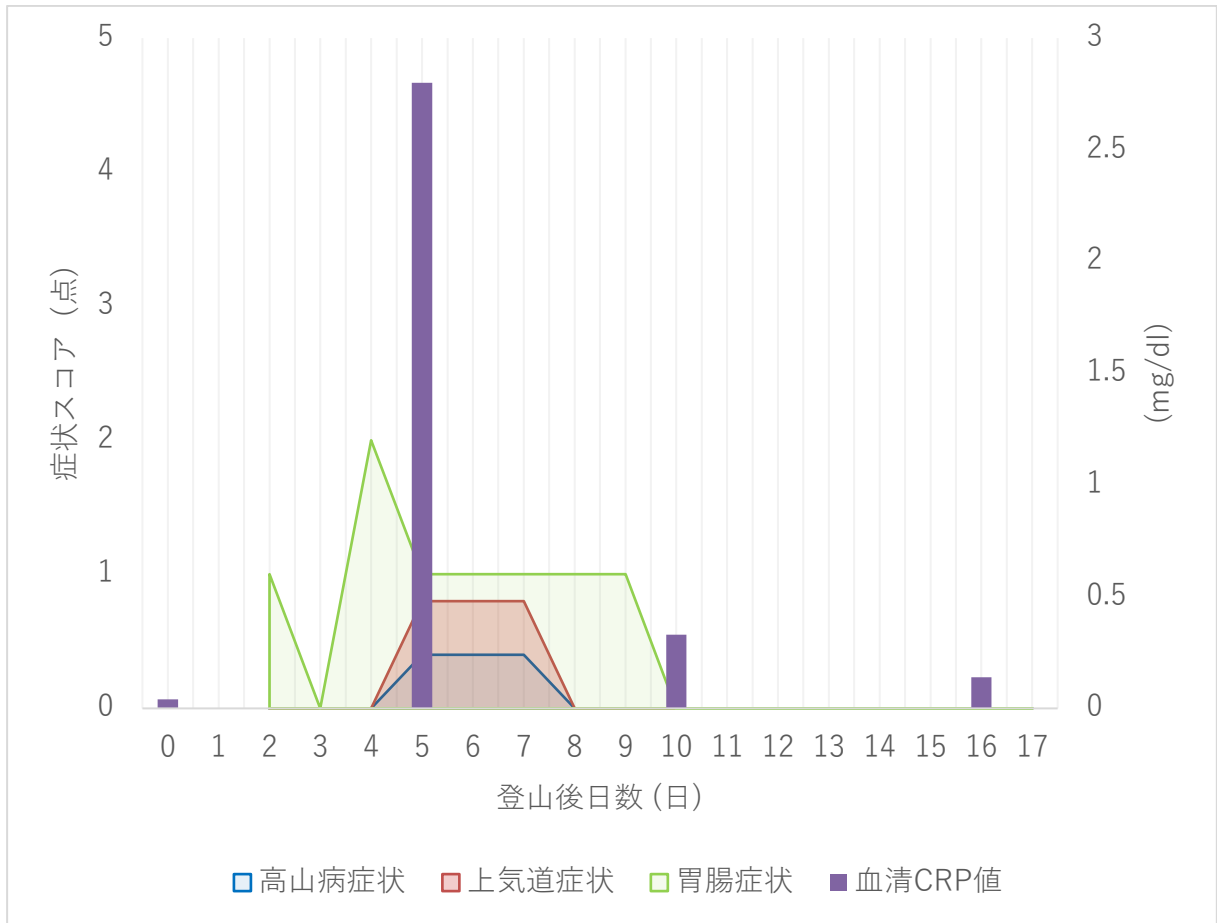


図4-5-2b：コンディション不良者（事例2）の間診票疾病症状と血清CRP値の推移

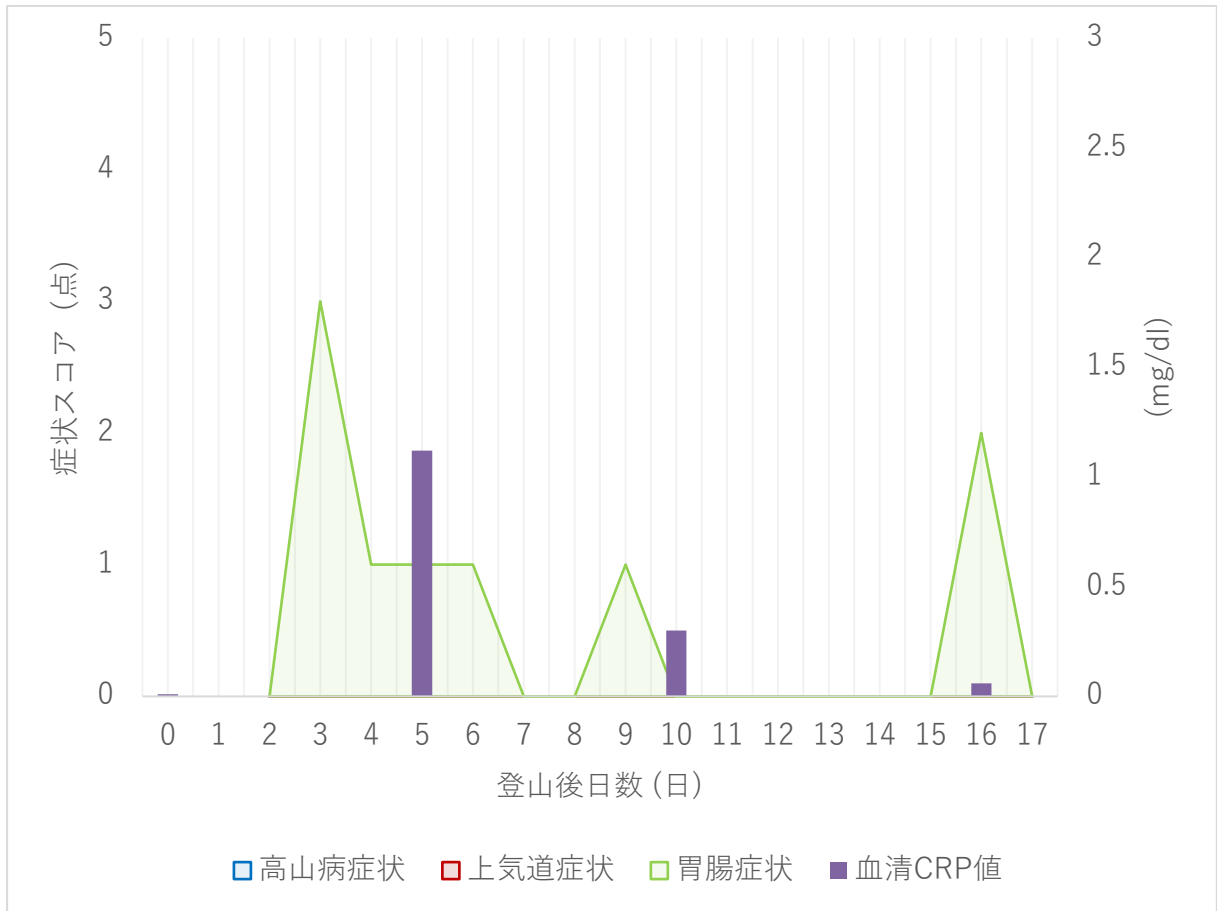


図4-5-2c：コンディション不良者（事例3）の問診票疾病症状と血清CRP値の推移

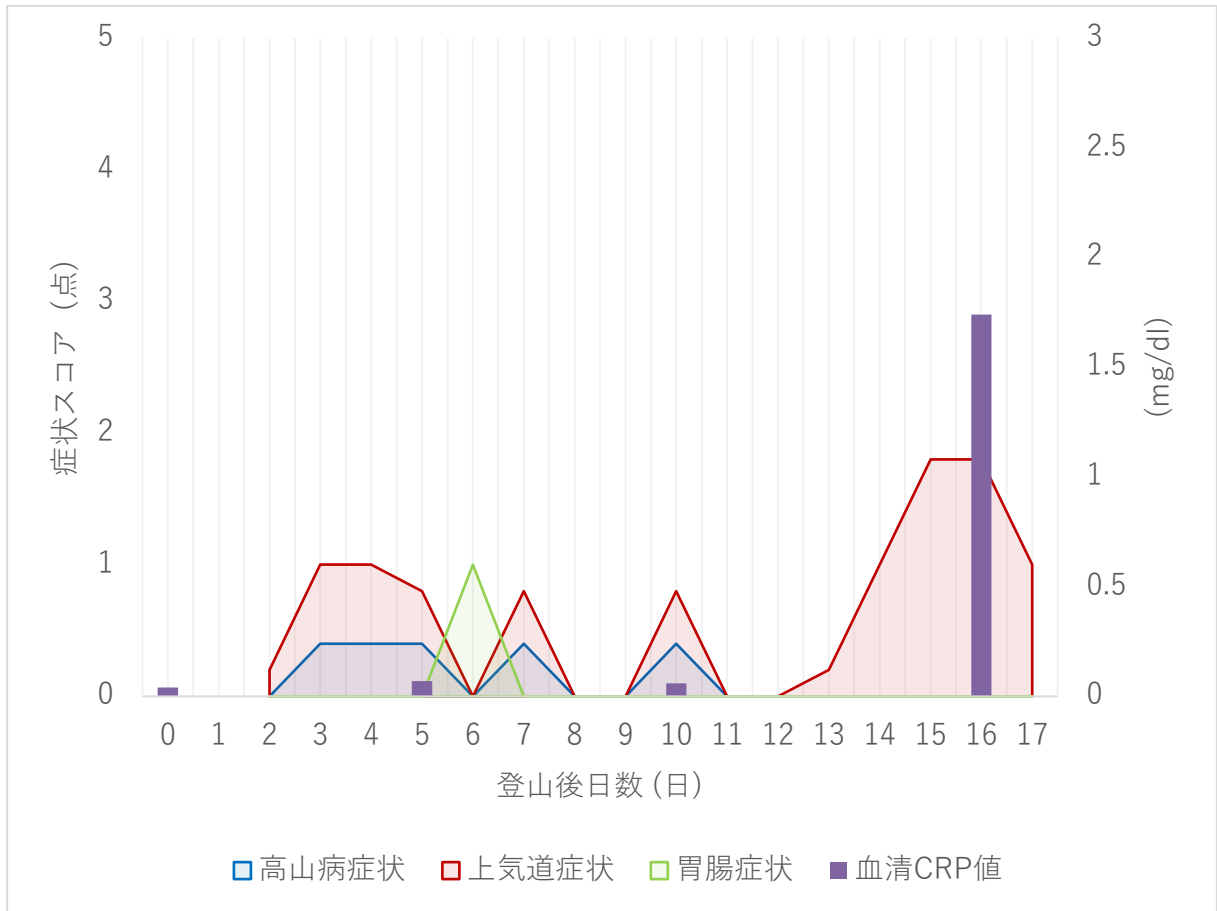


図4-5-2d：コンディション不良者（事例4：非トレーニング群）の問診票疾病症状と血清

CRP値の推移

高地トレーニング経験が問診票評価によるコンディションに及ぼす影響：

自覚的指標：睡眠状態では初回群と反復群ともにトレーニング後半の10日目頃から徐々にスコアが上昇したが、有意差を認めたのは10日目のみであった。食欲は、両群ともに総じて良好であったが徐々にスコアが高くなり、群間の有意差は9日目のみで認められた。疲労感、両群ともに登山後5日目頃から増加しはじめ10日目頃よりピークを迎える推移を示し、トレーニング開始から1点前後のスコア上昇を認めた。9日目のみ群間に有意差を認めた。自覚的コンディションでも、有意な群間差は9日目のみ認められ、両群ともに全体としてほぼ一定に保たれていた。一方、非トレーニング群は高地滞在中、トレーニングを行っている初回群および反復群とは全く異なる経時推移を示した（図4-5-3a～3d）。トレーニング群における初回群と反復群では時間的経過に違いを認めないが、非トレーニング群はトレーニング群とは異なった経過であった。

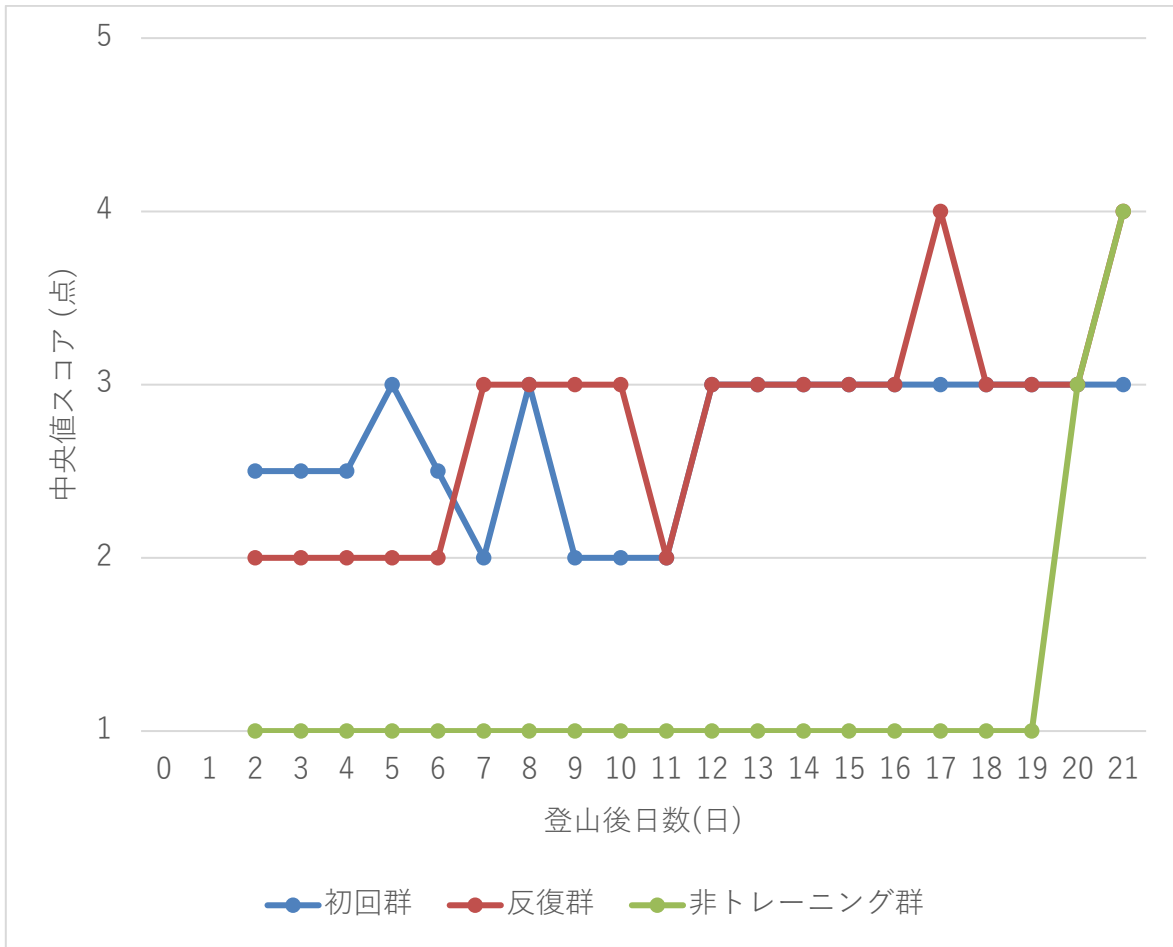


図4-5-3a：高地トレーニング中の自覚的指標の変化：睡眠状態

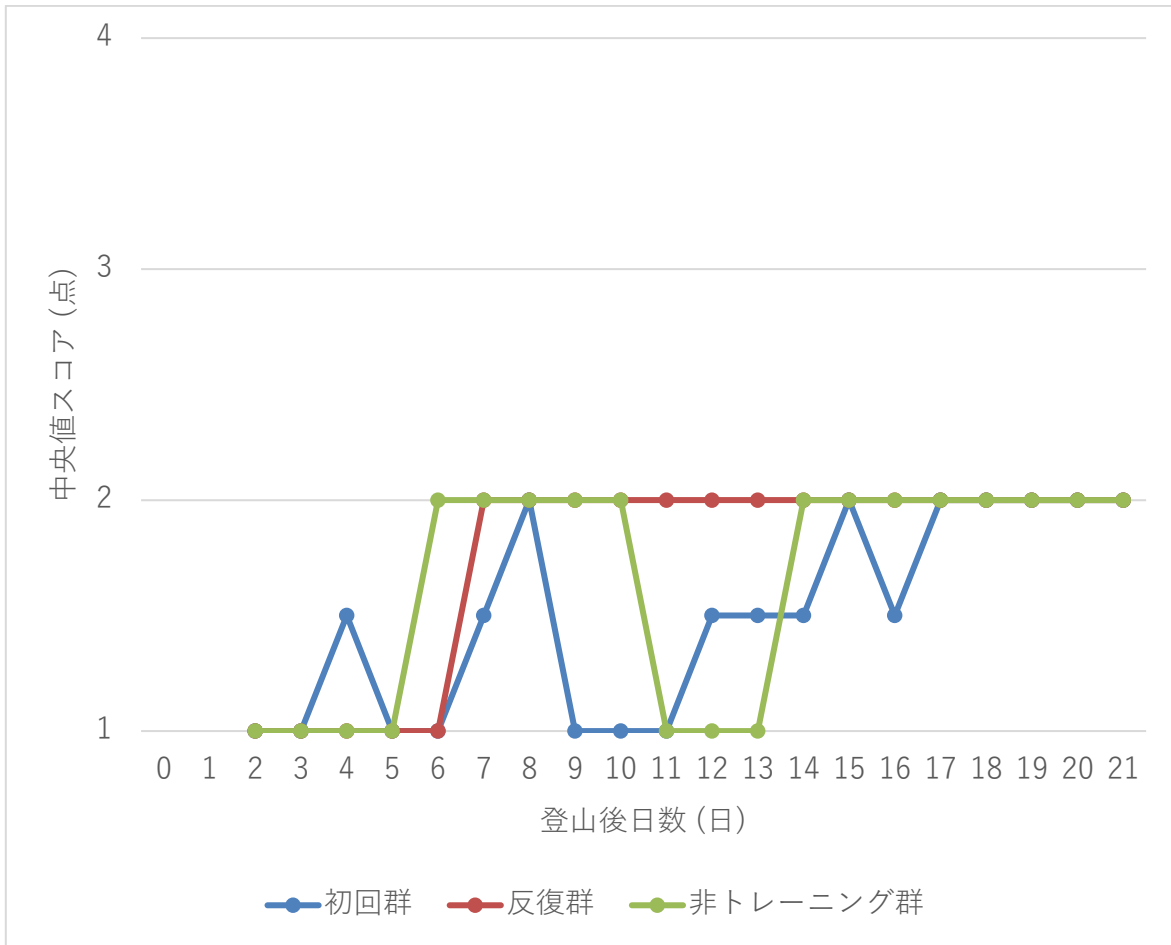


図4-5-3b：高地トレーニング中の自覚的指標の変化：食欲

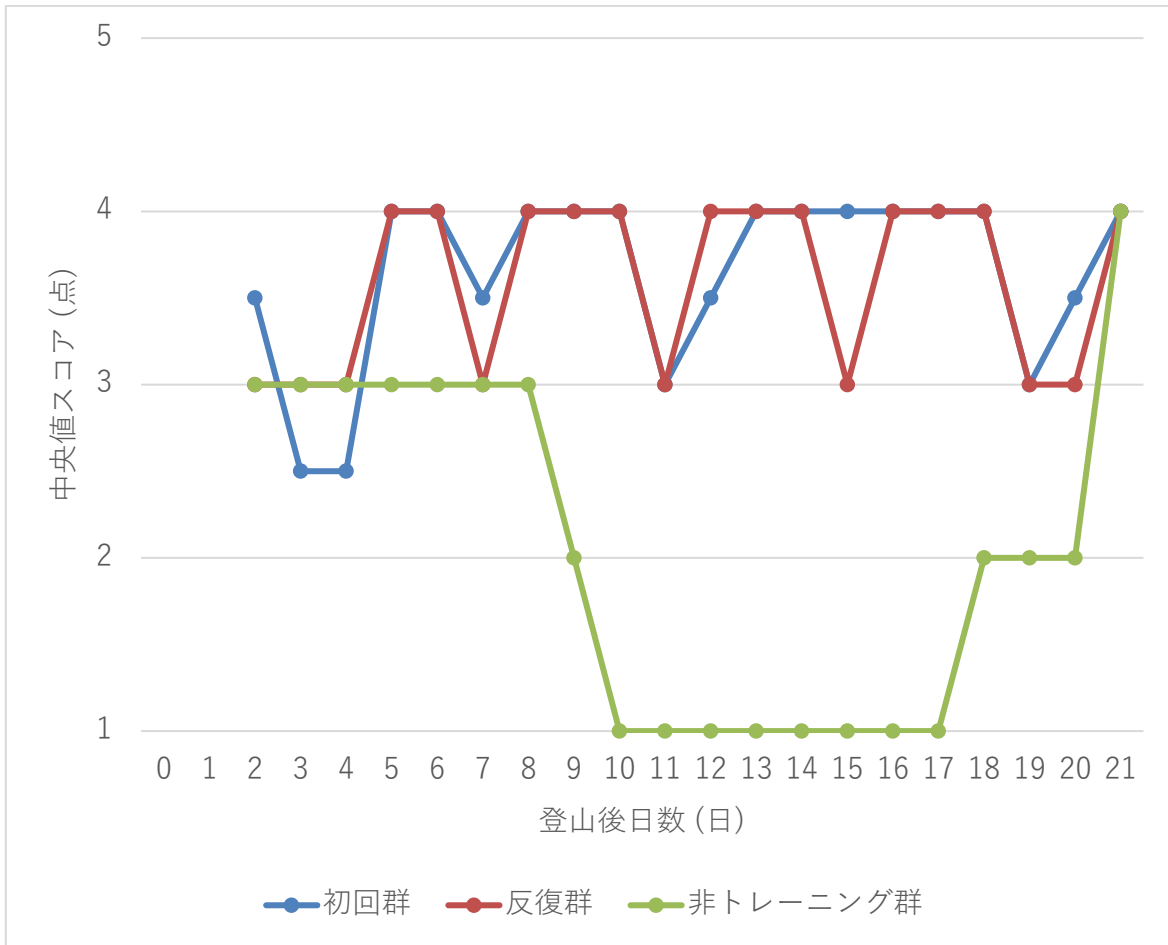


図4-5-3c：高地トレーニング中の自覚的指標の変化：疲労感

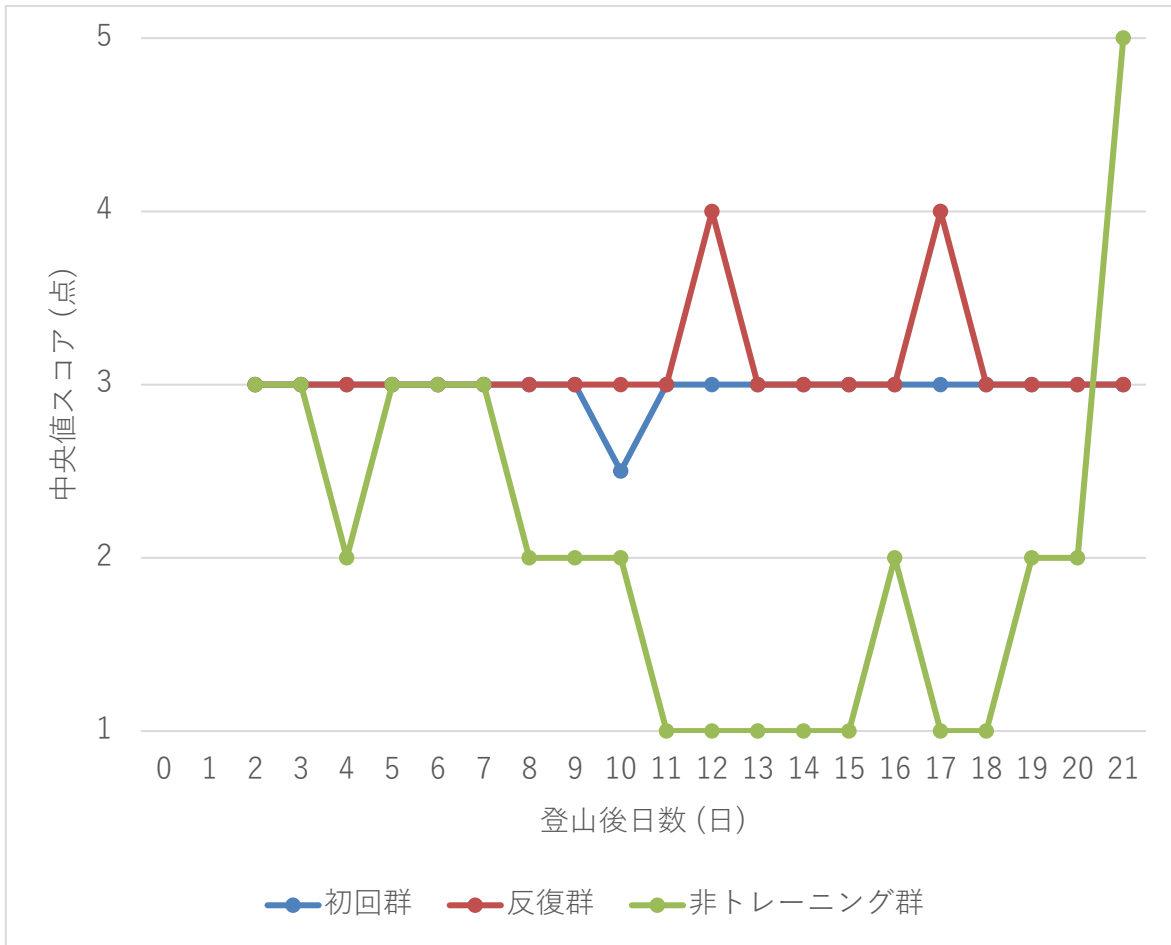


図4-5-3d：高地トレーニング中の自覚的指標の変化：自覚されるコンディション

疾病症状項目：選手1日1人あたりの身体症状平均スコア（素点）は 0.64 ± 0.03 点であった。重み付けスコア化された上気道症状および胃腸症状は、初回群と反復群でほとんど違いないのに対して、高山病症状はスコアが小さいものの初回群が反復群に比べ一貫して高い推移を示した。上気道症状は、高地登山直後と下山直前がやや高めであるものの明らかな傾向を認めなかった。胃腸症状もほぼ一定していたが7日目頃まではやや少ないようであった（図4-5-4a～4c）。

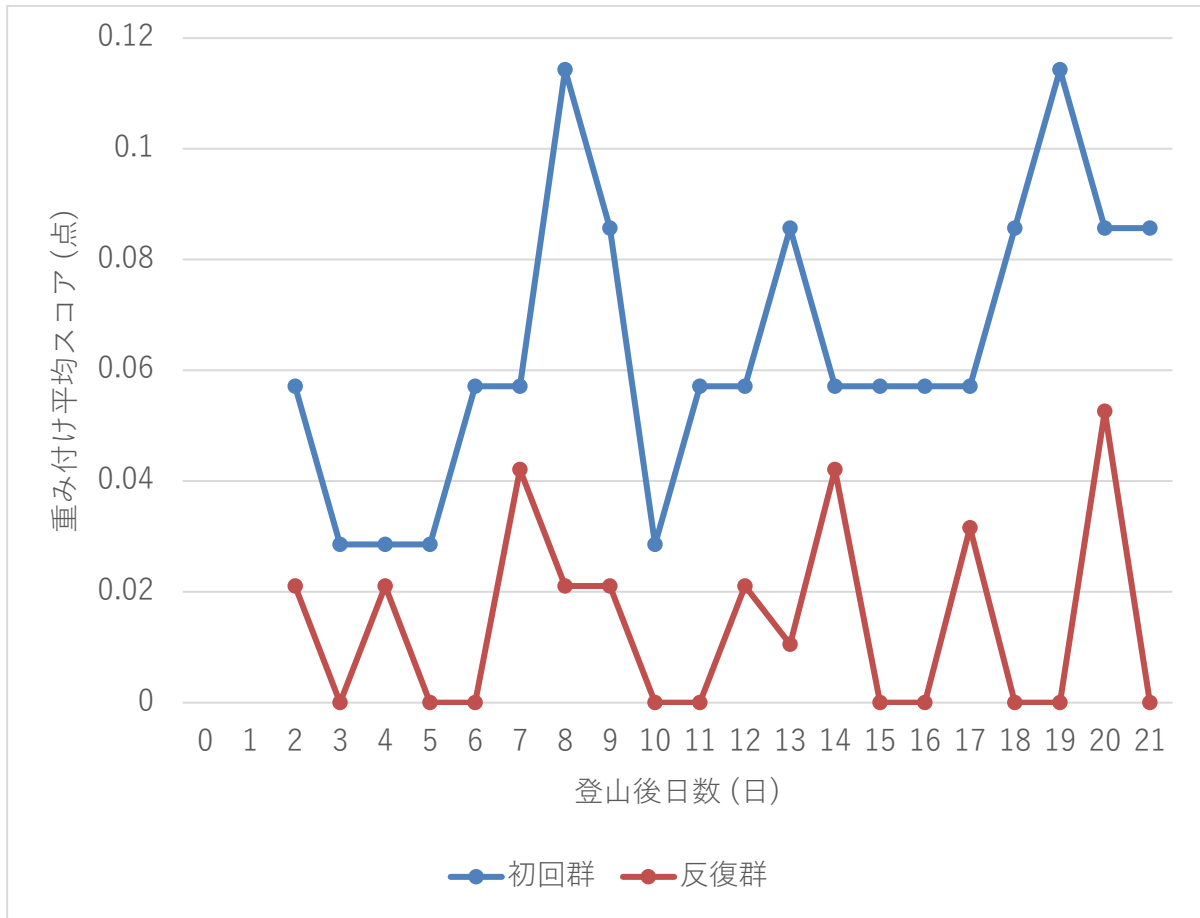


図4-5-4a：高地トレーニング中の疾病症状出現率の変化：高山病症状

高山病症状については、初回群が反復群に比して全体的に高い傾向であった。

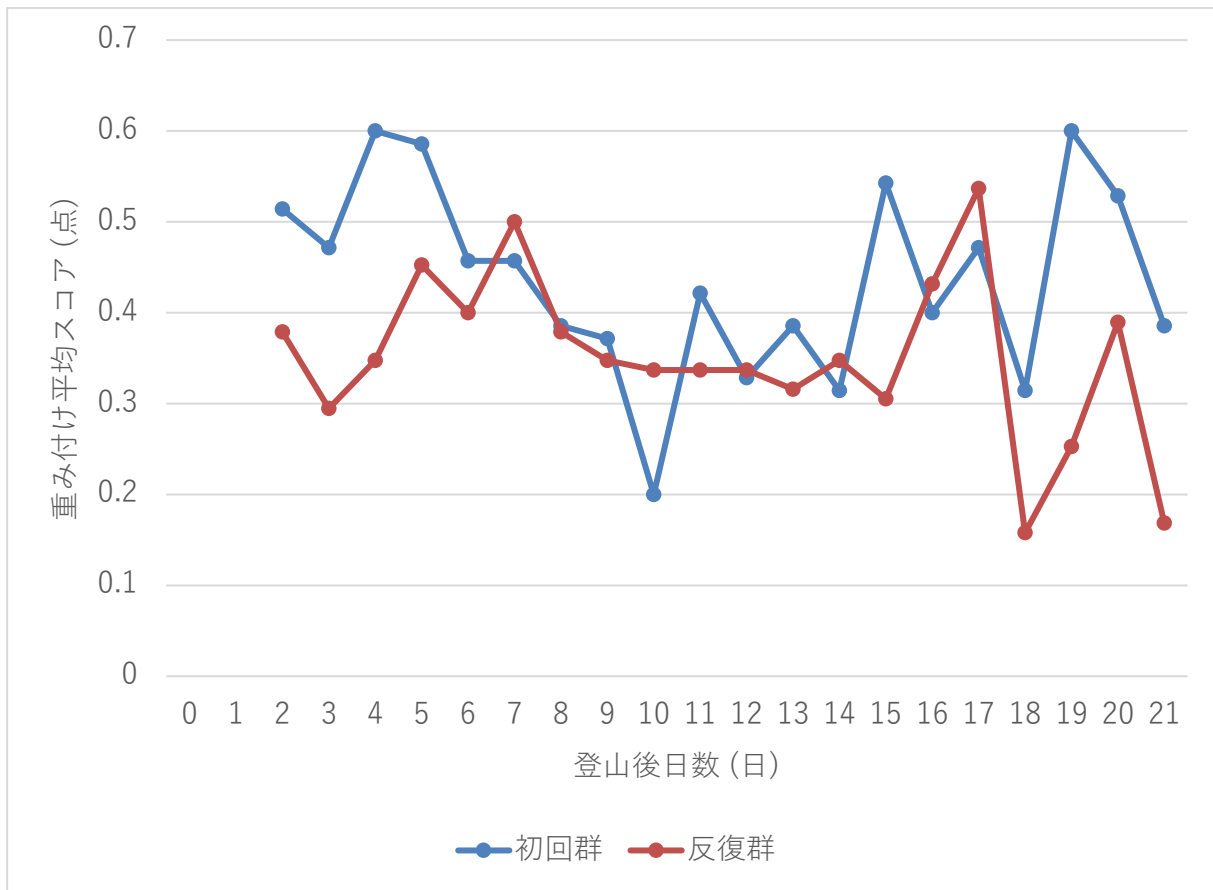


図4-5-4b：高地トレーニング中の疾病症状出現率の変化：上気道症状

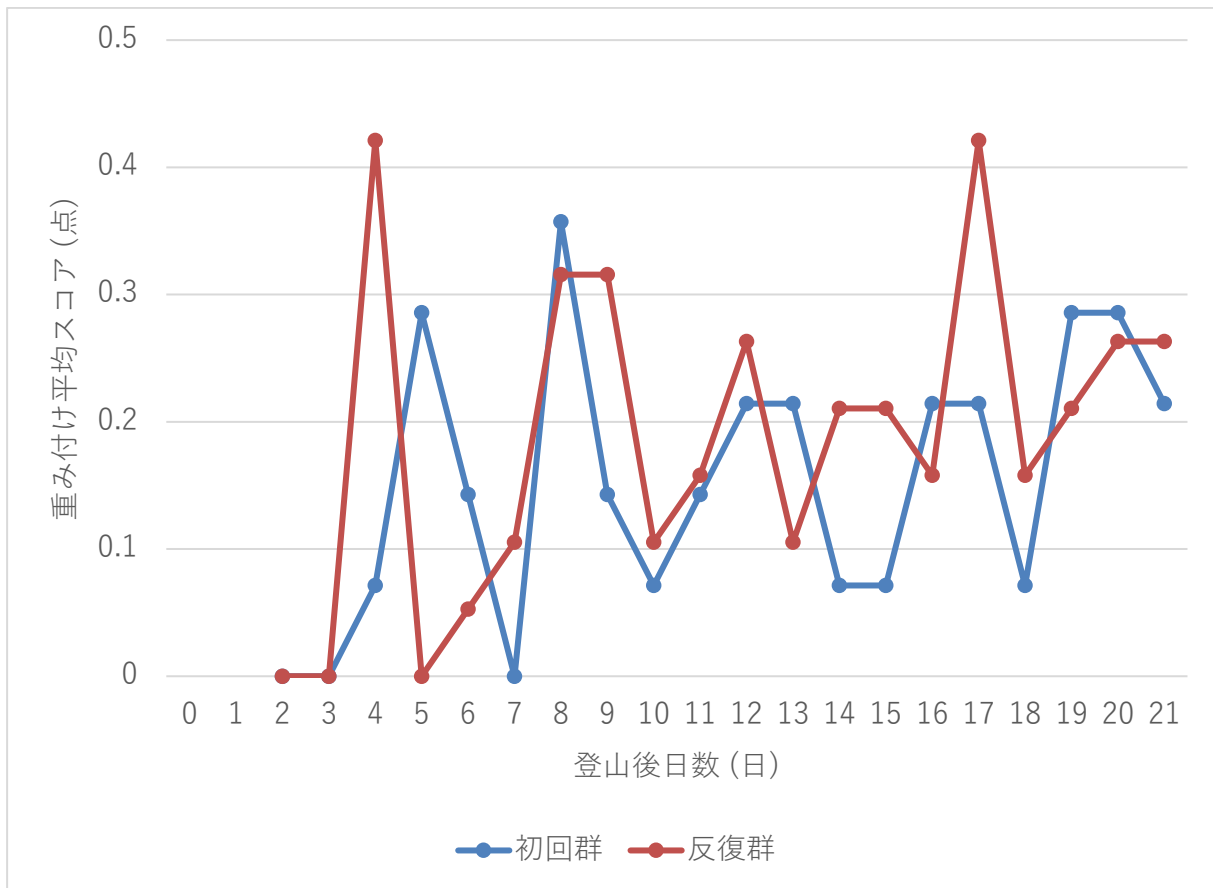


図4-5-4c：高地トレーニング中の疾病症状出現率の変化：胃腸症状

他覚的指標：SpO₂について、トレーニング群における初回群と反復群の比較では登山後2日目に初回群が反復群よりも低いSpO₂を示した。脈拍数は、2日目が3日目以降に比べ高い脈拍数を示したが、初回群と反復群の間で差は認められなかった（図4-5-5a,5b）。

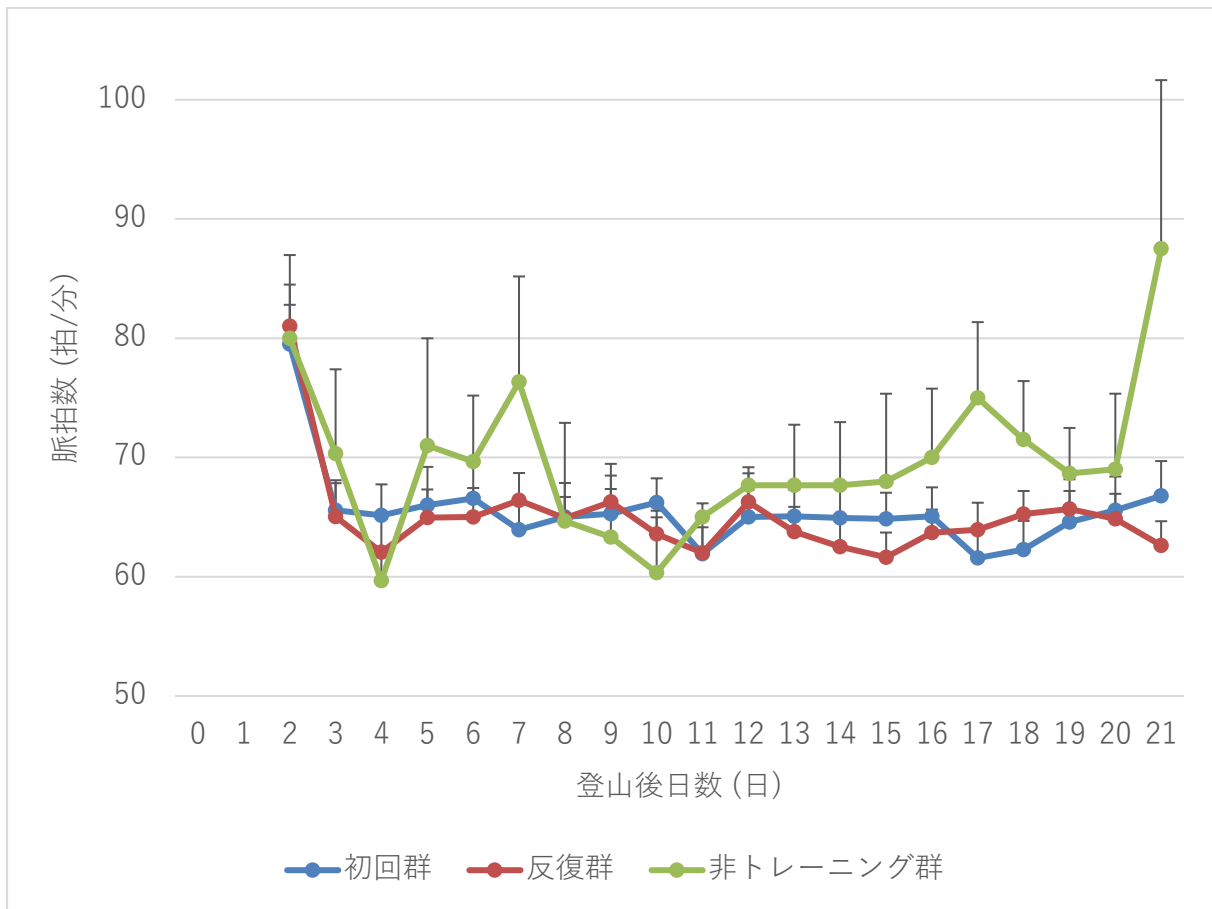


図4-5-5a：高地トレーニング中の脈拍数の変化

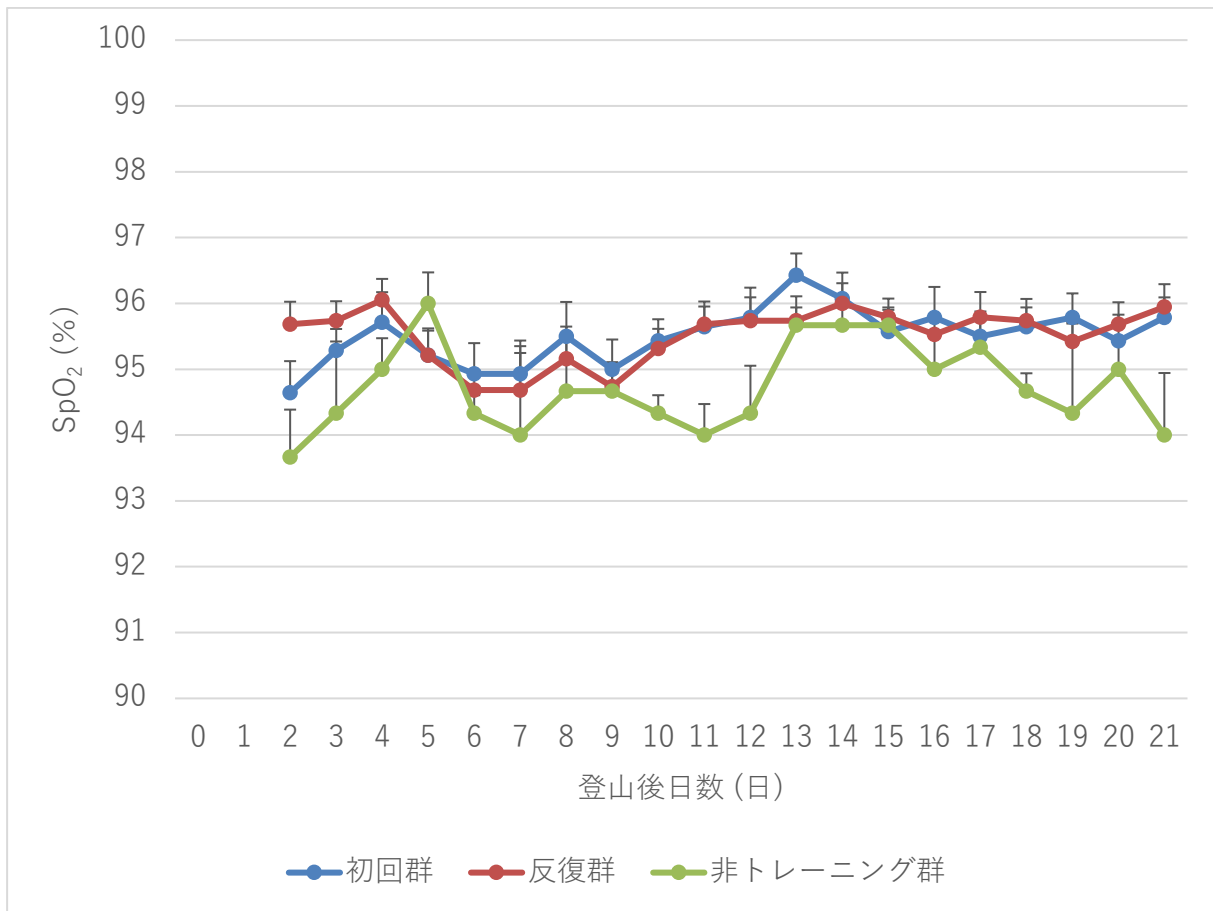


図4-5-5b：高地トレーニング中のSpO₂値の変化

【考察】

高地トレーニングのコンディションの特徴として、感冒や胃腸症状などのコンディション不良を生じやすいことが報告されており、症状の原因として感染症や、高地不適應として生ずる高山病がある一方、これらの症状は重複するため原因の鑑別が難しいとされている

(Wilber 2004; Bailey et al. 1998)。また、高山病の発症に前曝露が決定要素になると報告されている (Schneider et al. 2002) ことから、高地トレーニング経験の影響も考えられる。特に我が国では、高地トレーニングの拠点が国内にほぼ存在しないことに加えて、地理的条件自体や現場への医療サポートが困難なことから、内科的疾患の予兆を考慮したコンディション管理のための問診票は有用と考えられる。そこで本研究では、高地トレーニングにおける問診票によるコンディション評価の有用性を評価すること、さらに問診票による高地トレーニングのコンディション特性を評価し、高地トレーニング経験による差についても検討することを目的とした。

本研究に参加した水泳選手については、ほぼ1年間隔の同時期に同じ滞在地、滞在施設において、同地で過去に行われた合宿での経験知や研究結果 (野村ら 1999; 野村ら 2004) をもとに、同じ指導者よりトレーニングが処方されており、トレーニング概念や内容の詳細はやや異なるものの、環境条件や運動負荷条件については比較的同じ条件でトレーニングが行われているものと考えられた。

まず、問診票の有用性評価のためトレーニング合宿①において、特にコンディション不良が目立ったものについて検討を加えた。問診票を配布した14名のうち、臨床所見上、明らかなコンディション不良を示した者は、トレーニング群9名中3名、非トレーニング群5名中1名であった。学生における上気道症状の頻度と罹病期間の調査 (McArel et al. 2003) から、年3回の罹患があるとすると、2人がこの合宿で罹患することになり、上気道症状の割合はやや多かったことになる。そこで、症状項目について、疾病に関して症状頻度の重み付けをし、また炎症の有無を判断するため血清CRP値と対比することにより、臨床所見を感染性の上気道炎や胃腸炎と、高地によるコンディション不良と鑑別しうるかどうかを検討した。4事例のうち、事例1および事例4の登山初期では3日目をピークとした血清CRP値の上昇を認めない上気道症状があり、高山病症状が重複していた。血清CRP値は全身性の炎症所見を表し、一般に全身性の感染症の場合に上昇することが多い。逆に、高地不適応として認められる高地肺水腫では、初期には炎症が出現せず、症状の進行とともに出現するとされている。高山病症状の生じやすい登山直後の症状であることも含め、事例1および事例4の登山初期については高地によるコンディション不良が疑われた。一方、事例2および事例3の5日目の胃腸症状、事例4の16日目の上気道症状では、血清CRP値上昇を伴っており、感染症によるコンディション不良が疑われた。このように、問診票による重みづけにより、高山病症状と上気道症状や胃腸症状とを対比することにより、感染症と高地によるコンディション不良を鑑別で

きる可能性があり、さらに血清CRP値との併用により、コンディション不良の機序についてさらに判別できる可能性があると考えられた。

次に、問診票による高地トレーニングのコンディション特性について、標本数から統計学的検討ができないものの、自覚的指標のいずれの項目においても初回群・反復群と非トレーニング群で全く異なった推移を示した。このことは、高地トレーニングを行う場合、コーチなどの非トレーニング群が自覚するコンディションと、アスリートなど初回群・反復群の自覚するコンディションに乖離がある可能性を示しており、アスリートを個別によく観察してトレーニング計画を立てる必要があることが示唆される。一方トレーニングを行った初回群と反復群では、違いは認められなかった。今回の自覚的指標の問診で経験差を評価できない可能性がある反面、経験に関係なくコンディション評価を行い、トレーニング計画を立てる必要があると思われる。

疾病症状について、選手1日1人あたりの疾病症状平均スコアは 0.64 ± 0.03 であった。このことは、2人のアスリートのうち1名は何らかの疾病関連症状を訴える可能性があることを示しており、1項目が通常2日連続した場合には疾病の発症も考慮に入れたトレーニング計画を立てる必要があるかもしれない。Baileyらは、高地トレーニング中には上気道および胃腸症状が50%増加し、登山後8～14日の時期に多いと報告 (Bailey et al. 1998) している。今回の研究では、高山病症状において初回群が反復群に比較して一貫して高い傾向を認めたが、上気道症状については明らかでなく、胃腸症状は登山後7日目までが少ないようであった。高

山病は通常標高2,400mを越えて生じやすいと言われていることから、水泳選手がトレーニングを行う1,800~2,300m付近の高度のみでは一般的に高山病発症の可能性は乏しいと考えられる。しかし、高地に加えて強い運動負荷が加わった場合に高山病症状が出現しうると考えた場合、初回群では特に登山直後の高地順応期におけるコンディションを十分に評価する必要性があろう。先行研究では、疾病症状を重み付けて得点化してはいないため、上気道症状や胃腸症状の一部に高山病症状が含まれた可能性がある。逆に、本研究では上気道症状や胃腸症状に重み付けがされた分、疾病症状スコアは低めとなった可能性が考えられる。

他覚的指標について、2日目のSpO₂は初回群が反復群に比して低値を認め、脈拍数は初回群と反復群での差は認めないが、2日目は3日目以降に比し高い値を認めた。登山直後の2日目には高地馴化に関連した影響があらわれ、さらに初回群は反復群に比し高地の影響を受けやすい可能性が考えられるが、一方1,900mの高地トレーニングでの脈拍やSpO₂に対する影響は数日で消失しうる程度と考えられた。

研究の限界と展望については、同時期に同地滞在で行われた日本人による高地トレーニングとしては最大数に近い対象者数であったと考えられ、比較的均質な標本が得られたと考えられる一方で、標本数としては必ずしも十分ではなく、より多くの標本による検討が必要と考えられる。さらに、高地トレーニングと対比した平地での同問診票の感度についても今後の検討が必要である。本研究では抽出しえなかったが、問診票の問題点として、例えば通年性のアレルギー性鼻炎など軽度であっても基礎疾患を持つ者が含まれる場合、一部の持続す

る症状により経過にバイアスがかかる可能性が否定できないこと、海外でのトレーニングと
いった環境変化が及ぼすコンディションへの影響が挙げられよう。

特別な器具や準備を必要とせず短時間で評価できる問診票の利点は、普段の練習環境と異なる高地トレーニングにおいて、疾病症状も含めたコンディション評価が可能ならば特に有利であろう。今後は問診票を用いたコンディション評価を高地トレーニング以外の様々な場面で検討し、問診票の精度を高めていく必要がある。

【小括】

高地トレーニング中のコンディション評価のための問診票の有用性と、高地トレーニング経験がコンディションに及ぼす影響を検討した。問診票項目よりコンディションを観察でき、症状頻度から重み付けしたスコアと血清CRP値変動を組み合わせることにより、疾病症状を高地によるコンディション不良と感染症にさらに判別できる可能性が考えられた。また、トレーニング群の自覚的指標は徐々にスコアが上昇し、非トレーニング群とは異なる経過を示した。トレーニング群の疾病症状は1日1人当たり 0.64 ± 0.03 で2名のうち1名は何らかの疾病症状を訴えていた。高山病症状は初回群が反復群に比して高く推移し、加えて登山2日目の SpO_2 が低かったことから、初回群での高地によるコンディション不良対策が反復群より必要と考えられる。

5 総合討論

5.1 総合討論

低圧低酸素環境における生体反応の研究の多くは、高山病や高地肺水腫を生じやすい高度2,400m以上の知見である。このため本研究では、「多くの人々が生活している都市があるような、一般的な高地トレーニングが行われる高度において、平地に生活しているアスリートがトレーニングをすることによって負う身体的負荷に健康上のリスクは存在するのか？」という仮説を立てた。そして、水泳競技で行われている高地トレーニングがアスリートの身体的コンディションに及ぼす影響について、トレーニング現場で評価しうる呼吸循環器系、免疫系指標により、コンディショニングに及ぼす因子について検討するため研究課題①を設定した。また、「医療過疎となりがちな高地トレーニング地において、より安全に高地トレーニングを行うためのコンディション評価指標は何か？」の疑問を明らかにすべく、研究課題②として、高地トレーニング経験の有無によるコンディションの違いを検討し、研究課題③として、より安全な高地トレーニングに役立つ生理学的指標とコンディション評価方法の組み合わせについて検討を行った。

その結果、研究課題①では、標高1,900mの水泳高地トレーニングはANPとBNPに影響を及ぼしたが、高地トレーニング中の変動パターンが異なり、またトレーニング刺激の影響が低酸素ストレスによる影響よりも高いと考えられた。そして、ナトリウム利尿ペプチドを用いてトレーニングや低酸素負荷を評価し、高地トレーニング中にそれをモニタリングするこ

とにより血液動態や脱水状態を予測することが可能であると考えられた。血清SP-A値は全体的にトレーニング群が非トレーニング群に比べて、5日目、10日目では有意に高値であったが、変動パターンとコンディションの関係を見るにはさらなる観察が必要と考えられた。呼吸機能では、肺活量や1秒量などの指標の低下を観察し、高地トレーニング中の呼吸器コンディションへの影響を考慮する必要性が示唆された。

研究課題②では、繰り返す高地トレーニングがSIgAの反応に及ぼす影響について検討した結果、SIgAは登山後に減少し、トレーニング経験によってその変動が異なっていた。急性期では、SIgA濃度の低下が、その後SIgA分泌速度の低下が優位であった。高地トレーニング中の免疫学的コンディションの指標として役立つと考えられた。

研究課題③では、高地トレーニング中のコンディション評価のための問診票の有用性と、高地トレーニング経験がコンディションに及ぼす影響を検討した。問診票項目よりコンディションを観察でき、症状頻度から重み付けしたスコアと血清CRP値変動を組み合わせることにより、疾病症状を高地によるコンディション不良と感染症にさらに判別できる可能性が考えられた。また、トレーニング群の自覚的指標は徐々にスコアが上昇し、非トレーニング群とは異なる経過を示した。トレーニング群の疾病症状は1日1人当たり 0.64 ± 0.03 で2名のうち1名は何らかの疾病症状を訴えていた。高山病症状は初回群が反復群に比して高く推移し、加えて登山第2日目の SpO_2 が低かったことから、初回群での高地によるコンディション不良対策が反復群より必要と考えられた。

以上を総合すると、平地から2,000m程度に登山しての高地トレーニングでは、低酸素血症には至らない低酸素負荷により、平地では得られない呼吸循環系、免疫学的ストレスがかかり、コンディション不良を生じやすい可能性がある一方で、その反応は高山病や高地肺水腫などの不応までは至らない可能性が高いことが考えられた。

高地トレーニングにおける身体の応答と適応・不応、これに関連するコンディション評価指標の関係と、各指標が主に影響を受けたと考えられた因子について図5-1にまとめた。

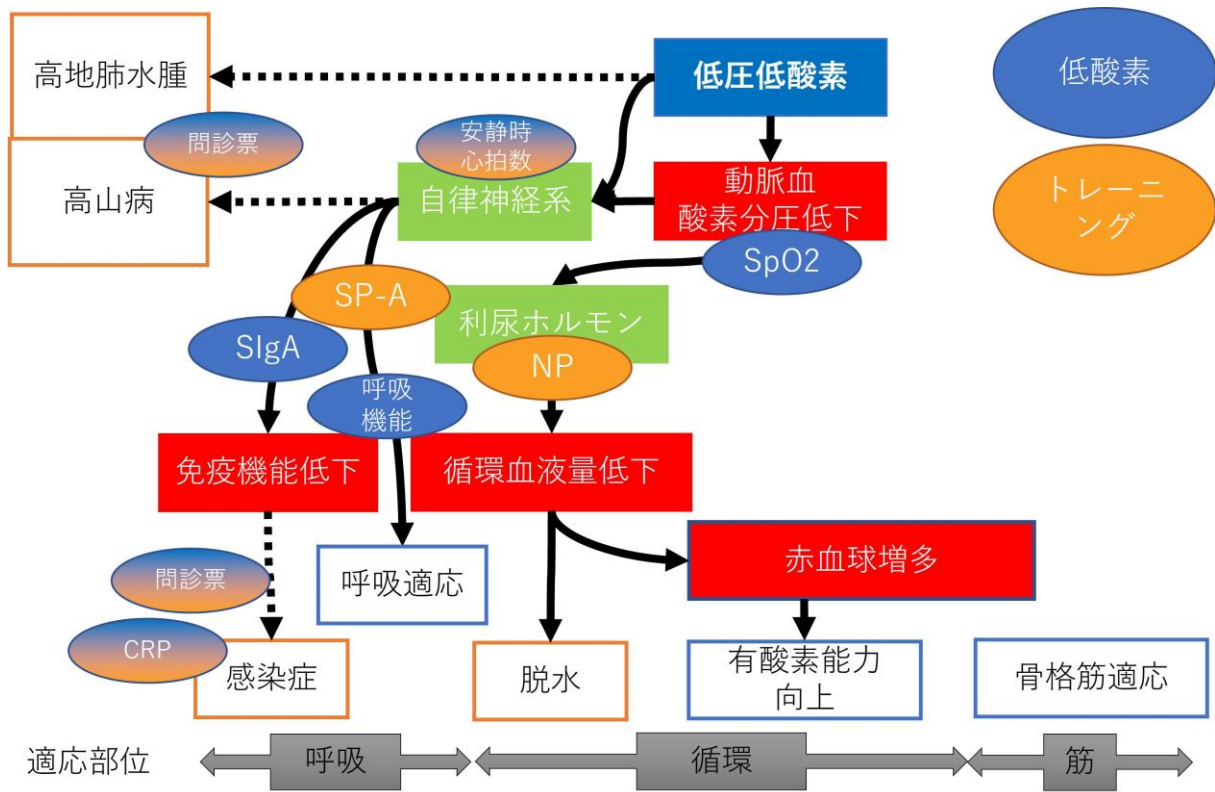


図5-1：高地トレーニングの適応・不適応とコンディション評価指標の関係

主に低酸素に影響されたと考えられた指標を青の楕円で、主にトレーニングに影響されたと考えられた指標をオレンジの楕円で、いずれにも影響されたと考えられた指標を混色の楕円で示した。

水泳競技では、今後も引き続き頻繁に高地トレーニングが行われると予想される。特に、国内での高地トレーニング施設が開所されたこともあり、今後はより頻繁にトレーニングが行われるようになる可能性もあろう。本研究から、高地トレーニングでのコンディショニングを評価するにあたり、様々な呼吸循環系、免疫学的指標が利用できる可能性が示されたと考えられる。しかしながら、本研究で用いた測定項目は利用可能性のあるもののごく一部にすぎず、先行研究をも含めて2,000m程度で行われる高地トレーニングでのコンディション評価の開発には、さらに質的、量的な研究を重ねる必要があると考えられる。

一方、高地トレーニングの研究は単一のトレーニング期間が対象となり、またコントロール群を置かないものがほとんどである。本研究は、標本数が限定的であるものの、高地トレーニングの反復の有無によるコンディションの違いや、同時に登山した非トレーニング群との違い、さらにはコンディション評価方法として、自覚症状などの主観的評価項目と、脈拍やSpO₂などによる簡易測定や呼吸機能検査、さらには唾液や血液といったスポーツ現場で応用可能な生体試料を用いた客観的評価項目を系統的に組み合わせて行った点に、新規性と発展性がある。さらには、単なるパフォーマンス向上のための評価ではなく、高地肺水腫などの高地馴化不応症や脱水をはじめとした異常や疾病をも視野に入れた評価を行っていることに特徴がある。今後も、本研究で用いた指標のデータを蓄積することにより、より効果的かつ安全なコンディション評価方法の開発が可能になると考えられる。

5.2 研究の限界と今後の課題

本研究は、日本人アスリートが行う自然環境下での高地トレーニングについて、呼吸循環系および免疫系を中心に生理学的指標を系統的に収集した貴重なものである。というのも、日本ではようやく2018年に国内初の本格的な高地トレーニング施設が長野県東御市に開所したばかりで、人工的な低圧低酸素環境設備としても、2000年を過ぎて国内のスポーツ医科学研究拠点である国立スポーツ科学センターで高地トレーニングに関連した研究が進んだばかりである。したがって、現在でもなお、自然環境を利用した日本人の高地トレーニングのほとんどは、海外で行われることが多く、日本人アスリートを対象とした生理学的なデータの収集はいまだに困難である。

言い換えれば、国内に専用のトレーニング基地をもつ米国や中国、あるいは国境を越えてトレーニングが可能な欧州と比べると、限定的なデータと言わざるを得ない。更には、例えば長野県東御市の湯ノ丸高原の高度は1,700m超程度であり、高地トレーニングとしても2,200mを超えるような比較的高い高度でのトレーニングデータについてはいまだに得にくい状況である。

スポーツ活動におけるコンディショニング指標としては、血液検体のほか尿や唾液、最近では呼気が応用されている。今後も、非侵襲的でありながら簡便かつ正確に測定できる高地トレーニングコンディション指標を見つけ出していくとともに、高地トレーニングのパフォ

パフォーマンス向上効果についても費用対効果の検証など、より具体的な高地トレーニングの適応について検討していく必要がある。

6 結論

日本人大学生水泳選手の1,900mの高度における高地トレーニングにおいて、呼吸循環的指標、免疫学的指標および問診票からなる総合的コンディション評価指標を用いて、トレーニング前後のコンディションを高地トレーニング経験による差も含めて評価した。

ナトリウム利尿ペプチドはトレーニング中に変化したが、低酸素環境よりもトレーニングによる影響が大きいと考えられた。呼吸機能検査項目の一つである肺活量は高地トレーニング中に低下し、トレーニング中の呼吸器症状の評価で考慮すべきと考えられた。唾液分泌型免疫グロブリンAはトレーニングとともに低下し、高地経験の有無でその応答が異なり、反復トレーニングの影響が考慮されるべきである。問診票項目よりコンディションを観察でき、症状頻度から重み付けしたスコアと血清CRP値変動を組み合わせることにより、疾病症状や高地でのコンディション不良を判別できる可能性が示唆された。

自覚症状などの主観的評価項目と、測定や検査、生体試料による客観的評価項目の系統的な組み合わせにより、高地肺水腫などの高地馴化不応や脱水等の疾病をも包括した高地トレーニングコンディション評価方法の開発が可能になると考えられた。

7 謝辞

本研究の一部は、財団法人上月スポーツ・教育財団第5回スポーツ研究助成事業の助成により行われました。また、現地での血液検体分析に際して雲南体育科学研究所生理生化学実験室長のBai XuYu氏に協力を得ました。

まず、本研究の遂行にあたり、研究対象者として、当時学生であった角川孝明助教をはじめ筑波大学水泳部の皆様には献身的なご協力をいただき、感謝申し上げます。そして、筑波大学水泳研究室の野村武男名誉教授、椿本昇三教授には、水泳科学の視点から高地トレーニングにかかわる問題点について数多くのご指導をいただき、また当時水泳部コーチであった現東洋大学の白木孝尚准教授、現順天堂大学の武田剛准教授、本学体育系仙石泰雄准教授は、長期にわたる高地トレーニング期間中の測定についてマネジメントいただきました。深く感謝の意を表します。

スポーツ医学専攻では、高橋英幸教授に学位論文審査の労をお取りいただきました。副査をいただいた、竹越一博教授、高木英樹教授、福田崇准教授には、お忙しいなかご指導いただき感謝いたします。

河野一郎元教授、武藤芳照元東京大学副学長、目崎登名誉教授には、常に俯瞰的な立場から、スポーツ医学の在り方の基礎からスポーツ医としての人生観まですべてご指導いただきました。ここに感謝申し上げます。

最後に、数年以上にわたる中国での高地トレーニングでの研究のため、毎年正月を留守しておりました家族にはお詫びいたします。

8 参考文献

Akashi YJ, Springer J, Lainscak M, Anker SD: Atrial natriuretic peptide and related peptides.

Clin Chem Lab Med 45: 1259-1267,2007. doi:10.1515/CCLM. 274.

Arad M, Elazar E, Shotan A, Klein R, Rabinowitz B: Brain and atrial natriuretic peptides in

patients with ischemic heart disease with and without heart failure. Cardiology 87: 12-17,

1996.

Arima M, Kanoh T, Kawano Y, Oigawa T, Yamagami S, Matsuda S: Plasma levels of brain

natriuretic peptide increase in patients with idiopathic bilateral atrial dilatation. Cardiology

97: 12-17, 2002

Bailey DM, Davies B: Physiological implications of altitude training for endurance

performance at sea level: a review. Br J Sports Med 31(3): 183-190, 1997.

Bailey DM, Davies B, Romer L, Castell L, Newsholme E, Gandy G: Implications of moderate

altitude training for sea-level endurance in elite distance runners. Eur J Appl Physiol Occup

Physiol 78(4): 360-368, 1998.

Bailey DM, Davies B, Castell LM, Collier DJ, Milledge JS, Hullin DA, Seddon PS, Young IS:

Symptoms of infection and acute mountain sickness; associated metabolic sequelae and

problems in differential diagnosis. High Alt Med Biol 4(3): 319-331, 2003.

Bartsch P, Shaw S, Francioli M, Gnadinger MP, Weidmann P: Atrial natriuretic peptide in acute mountain sickness. *J Appl Physiol* 65: 1929-1937, 1988.

Beidleman BA, Muza SR, Fulco CS, Cymerman A, Staab JE, Sawka MN, Lewis SF, Skrinar GS: White blood cell and hormonal responses to 4300m altitude before and after intermittent altitude exposure. *Clin Sci (Lond)* 111(2): 163-169, 2006.

Bocqueraz O, Koulmann N, Guigas B, Jimenez C, Melin B: Fluid-regulatory hormone responses during cycling exercise in acute hypobaric hypoxia. *Med Sci Sports Exerc* 36: 1730-1736, 2004.

Chen YF: Atrial natriuretic peptide in hypoxia. *Peptides* 26: 1068-1077, 2005.

Clerico A, Iervasi G, Mariani G: Pathophysiologic relevance of measuring the plasma levels of cardiac natriuretic peptide hormones in humans. *Horm Metab Res* 31: 487-498, 1999.

Crossner CG: Salivary flow rate in children and adolescents. *Swed Dent J* 8(6): 271-276, 1984.

Culp DJ, Graham LA, Latchney LR, Hand AR: Rat sublingual gland as a model to study glandular mucous cell secretion. *Am J Physiol* 260(6 Pt 1): C1233-1244, 1991.

Daniels LB, Allison MA, Clopton P, Redwine L, Siecke N, Taylor K, Fitzgerald R, Bracker M, Maisel AS: Use of natriuretic peptides in pre-participation screening of college athletes. *Int J Cardiol* 124:411-414, 2008.

Deboeck G, Moraine JJ, Naeue R: Respiratory Muscle Strength May Explain Hypoxia-Induced Decrease in Vital Capacity. *Med. Sci. in Sports Exerc.*37(5): 754-758, 2005.

de Lemos JA, McGuire DK, Drazner MH: B-type natriuretic peptide in cardiovascular disease. *Lancet* 362: 316-322, 2003.

Demel U, Domej W, Tilz GP: Function and repertoire of the immune system in body's defense. *Wien Med Wochenschr* 150(8-9): 175-177, 2000.

Droma Y, Hanaoka M, Basnyat B, Arjyal A, Neupane P, Pandit A, Sharma D, Kubo K: Symptoms of acute mountain sickness in Sherpas exposed to extremely high altitude. *High altitude medicine & biology* 7(4): 312-314, 2006.

Gleeson M, Pyne DB: Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: exercise effects on mucosal immunity. *Immunol Cell Biol* 78(5): 536-544, 2000.

Gross NJ, Smith DM: Impaired surfactant phospholipid metabolism in hyperoxic mouse lungs. *J.Appl.Physiol.*51(5): 1198-1203, 1981.

Hackett PH, Oelz O: The Lake Louise Consensus on the definition and quantification of altitude illness. In: Hypoxia and Mountain Medicine. Sutton JR, Houston CS, Coates G (eds) Queen City Press, Burlington, USA, pp327-330, 1992.

Hashimoto F, McWilliams B, Qualls C: Pulmonary ventilatory function decreases in proportion to increasing altitude. *Wilderness and Environmental Medicine* 8: 214-217, 1997.

Hou XH, Sun XH, Ge XF: The effects of “living high training low” on plasma ANP and cardinal function of rats. *J Wuhan Inst Phys Educ*, 2003. doi: cnki:ISSN: 42-1105.0.2000-05-027.

Humphrey SP, Williamson RT: A review of saliva: normal composition, flow, and function. *J Prosthet Dent* 85(2): 162-169, 2001.

Jackson GG, Dowling HF, Muldoon RL: Acute respiratory diseases of viral etiology. VII. Present concepts of the common cold. *American Journal of Public Health and the Nation's Health* 52: 940-945, 1962.

Jakeman PM, Weller A, Warrington G: Cellular immune activity in response to increased training of elite oarsmen prior to Olympic competition. *J Sports Sci.* 13(3): 207-211, 1995.

Kato M, Kinugawa T, Ogino K, Endo A, Osaki S, Igawa O, Hisatome I, Shigemasa C: Augmented response in plasma brain natriuretic peptide to dynamic exercise in patients with left ventricular dysfunction and congestive heart failure. *J Intern Med* 248: 309-315, 2000.

Kugler J, Hess M, Haake D: Secretion of salivary immunoglobulin A in relation to age, saliva flow, mood states, secretion of albumin, cortisol, and catecholamines in saliva. *J Clin Immunol* 12(1): 45-49, 1992.

La Gerche A, Connelly KA, Mooney DJ, MacIsaac AI, Prior DL: Biochemical and functional abnormalities of left and right ventricular function after ultra-endurance exercise. *Heart* 94: 860-866, 2008.

Levine BD, Stray-Gundersen J: "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 83: 102-112, 1997.

Liang F, Wu J, Garami M, Gardner DG: Mechanical strain increases expression of the brain natriuretic peptide gene in rat cardiac myocytes. *J Biol Chem* 272: 28050-28056, 1997.

Liang F, Gardner DG: Mechanical strain activates BNP gene transcription through a p38/NF-kappaB-dependent mechanism. *J Clin Invest* 104: 1603-1612, 1999.

Ljusegren ME, Andersson RG: Hypoxia induces release of atrial natriuretic peptide in rat atrial tissue: a role for this peptide during low oxygen stress. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol* 350: 189-193, 1994.

Loeppky JA, Icenogle MV, Maes D, Riboni K, Hinghofer-Szalkay H, Roach RC: Early fluid retention and severe acute mountain sickness. *J Appl Physiol* 98: 591-597, 2005.

Lowbeer C, Seeberger A, Gustafsson SA, Bouvier F, Hulting J: Serum cardiac troponin T, troponin I, plasma BNP and left ventricular mass index in professional football players. *J Sci Med Sport* 10: 291-296, 2007. doi:10.1016/j.jsams.2006.10.002.

Mazzeo RS: Altitude, exercise and immune function. *Exerc Immunol Rev.* 11: 6-16. 2005.

McArel HE, Vossen JF, Thompson AM, Vossen DP: Physical activity levels and number and duration of upper respiratory infections in undergraduate students, *Medicine & Science in Sports & Exercise* 35(5) Supplement: 381, 2003.

McNairy M, Gardetto N, Clopton P, Garcia A, Krishnaswamy P, Kazanegra R, Ziegler M,

Maisel AS: Stability of B-type natriuretic peptide levels during exercise in patients with congestive heart failure: implications for outpatient monitoring with B-type natriuretic peptide. *Am Heart J* 143: 406-411, 2002.

Moreira A, Arsati F, Cury PR, Franciscan C, de Oliveira PR, de Araujo VC: Salivary immunoglobulin a response to a match in top-level brazilian soccer players. *J Strength Cond Res* 23(7): 1968-1973, 2009.

Nakamura M: Screening and epidemiology of heart disease by measuring BNP. In **Tsutamoto T**, Saito Y (ed) *Brain natriuretic peptide in daily practice* 1st ed, Nankodo, Tokyo, pp25-42, 2005.

Nakanishi K, Tajima F, Itoh H, Nakata Y, Osada H, Hama N, Nakagawa O, Nakao K, **Kawai T**, Takishima K, Aurues T, Ikeda T: Changes in atrial natriuretic peptide and brain natriuretic peptide associated with hypobaric hypoxia-induced pulmonary hypertension in rats. *Virchows Arch* 439: 808-817, 2001.

Neville V, Gleeson M, Folland JP: Salivary IgA as a risk factor for upper respiratory infections in elite professional athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 40(7): 1228-1236, 2008.

Nicholson S, Richards M, Espiner E, Nicholls G, Yandle T: Atrial and brain natriuretic peptide response to exercise in patients with ischaemic heart disease. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 20: 535-540, 1993.

Perhonen M, Takala TE, Vuolteenaho O, Mantymaa P, Leppaluoto J, Ruskoaho H: Induction of cardiac natriuretic peptide gene expression in rats trained in hypobaric hypoxic conditions. *Am J Physiol* 273: R344-R352, 1997.

Pilardeau P, Richalet JP, Bouissou P, Vaysse J, Larmignat P, Boom A: Saliva flow and composition in humans exposed to acute altitude hypoxia. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 59(6): 450-453, 1990.

Pollard AJ, Mason NP, Barry PW, Pollard RC, Collier DJ, Fraser RS, Miller MR, Milledge JS: Effect of altitude on spirometric parameters and the performance of peak flow meters. *Thorax* 51: 175-178, 1996.

Ponchia A, Biasin R, Tempesta T, Thiene M, Volta SD: Cardiovascular risk during physical activity in the mountains. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*.7(2): 129-135, 2006.

Pyne DB, Gleeson M, McDonald WA, Clancy RL, Perry C Jr, Fricker PA: Training strategies to maintain immunocompetence in athletes. *Int J Sports Med*. 21 Suppl 1: S51–60, 2000.

Redfield MM, Rodeheffer RJ, Jacobsen SJ, Mahoney DW, Bailey KR, Burnett JC Jr: Plasma brain natriuretic peptide concentration: impact of age and gender. *J Am Coll Cardiol* 40: 976-982, 2002.

Renfrow NE, Bolton B: Personality characteristics associated with aerobic exercise in adult males. *Journal of Personality Assessment* 43(3): 261, 1979.

Roach RC, Hackett PH, Oelz O, Bärtsch P, Luks AM, MacInnis MJ, Baillieet JK: The 2018 Lake Louise Acute Mountain Sickness Score. *High Alt Med Biol* 19: 4-6, 2018.

Rock PB, Kraemer WJ, Fulco CS, Trad LA, Malconian MK, Rose MS, Young PM, Cymerman A: Effects of altitude acclimatization on fluid regulatory hormone response to submaximal exercise. *J Appl Physiol* 75: 1208-1215, 1993.

Saxena S, Kumar R, Madan T, Gupta V, Muralidhar K, Sarma PU: Association of polymorphisms in pulmonary surfactant protein A1 and A2 genes with high-altitude pulmonary edema. *Chest* 128(3): 1611-1619, 2005.

Schmidt W, Brabant G, Kroger C, Strauch S, Hilgendorf A: Atrial natriuretic peptide during and after maximal and submaximal exercise under normoxic and hypoxic conditions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61: 398-407, 1990.

Schmidt W, Rojas J, Boning D, Bernal H, Garcia S, Garcia O: Plasma-electrolytes in natives to hypoxia after marathon races at different altitudes. *Med Sci Sports Exerc* 31: 1406-1413, 1999.

Schneider M, Bernasch D, Weymann J, Holle R, Bartsch P: Acute mountain sickness: influence of susceptibility, preexposure, and ascent rate. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34(12): 1886-1891, 2002.

Selland MA, Stelzner TJ, Stevens T, Mazzeo RS, McCulough RE, Reeves JT: Pulmonary function and hypoxic ventilatory response in subjects susceptible to high-altitude pulmonary edema. *CHEST* 103: 111-116, 1993.

Serrano-Duenas M: High altitude headache. A prospective study of its clinical characteristics. *Cephalalgia* 25(12): 1110-1116, 2005.

Sharma S, Brown B: Spirometry and Respiratory Muscle Function During Ascent to Higher Altitudes. *Lung* 185: 113-121, 2007.

Sherry E, Viswanathan S, Trieu L, Chisholm D, Das A: Medical problems of athletes. In:

Sherry E, Wilson S (eds) Oxford Handbook of Sports Medicine Oxford University Press, New York, USA, pp94-95, 1998.

Shimamoto K, Kusumoto M, Sakai R, Watanabe H, Ihara S, Koike N, Kawana M: Usefulness of the brain natriuretic peptide to atrial natriuretic peptide ratio in determining the severity of mitral regurgitation. *Can J Cardiol* 23: 295-300, 2007.

Stager JM, Coyle MA: Energy systems. Handbook of Sports Medicine and Science-Swimming.

Stager JM, Tanner DA, Blackwell Science, MA, USA, 2nd.ed.: 1-19, 2005.

Steele IC, McDowell G, Moore A, Campbell NP, Shaw C, Buchanan KD, Nicholls DP:

Responses of atrial natriuretic peptide and brain natriuretic peptide to exercise in patients with chronic heart failure and normal control subjects. *Eur J Clin Invest* 27: 270-276, 1997.

Stephan Y, Bilard J, Ninot G, Delignieres D: Bodily transition out of elite sport: a one-year study of physical self and global self-esteem among transitional athletes. *International Journal of Sport & Exercise Psychology* 1(2): 192-207, 2003.

Suda K, Kato J, Nozawa M, Komabayashi T, Imai H, Era S: ANP content in rat myocardium during and after swimming. *Adv Exerc Sports Physiol* 12: 121-125, 2006.

Swenson ER, Maggiorini M, Mongovin S, Gibbs JSR, Greve I, Mairbäurl H, Bärtsch P:

Pathogenesis of high-altitude pulmonary edema. Inflammation is not an etiologic factor.

JAMA (287): pp2228-2235, 2002.

Takahashi H, Kuroki Y, Morita M, Tabata N: Studies on asphyxia: lipids in the alveoli of rats

in hypoxic state. Forensic Sci Int. 42(3): pp215-220, 1989.

Tamura N, Ogawa Y, Yasoda A, Itoh H, Saito Y, Nakao K: Two cardiac natriuretic peptide

genes (atrial natriuretic peptide and brain natriuretic peptide) are organized in tandem in the

mouse and human genomes. J Mol Cell Cardiol 28: 1811-1815, 1996.

Tiollier E, Schmitt L, Burnat P, Fouillot JP, Robach P, Filaire E, Guezennec C, Richalet JP:

Living high-training low altitude training: effects on mucosal immunity. Eur J Appl Physiol

94(3): 298-304, 2005.

Toth M, Vuorinen KH, Vuolteenaho O, Hassinen IE, Uusimaa PA, Leppäluoto J, Ruskoaho

H: Hypoxia stimulates release of ANP and BNP from perfused rat ventricular myocardium.

Am J Physiol 266: H1572-1580, 1994.

Vahid Z, Reza A, Ali M: Pulmonary Function Parameters Changes at Different Altitudes in

Healthy Athletes. Iran J Allergy Asthma Immunol 7(2): 79-84, 2008.

Wagenmakers AJ: Amino acid metabolism, muscular fatigue and muscle wasting. Speculations

on adaptations at high altitude. Int J Sports Med. 13 Suppl 1: S110-113, 1992.

Walsh NP, Whitham M: Exercising in environmental extremes: a greater threat to immune function? *Sports Medicine* 36(11): 941-976, 2006.

Wang TJ, Larson MG, Levy D, Leip EP, Benjamin EJ, Wilson PW, Sutherland P, Omland T, Vasani RS: Impact of age and sex on plasma natriuretic peptide levels in healthy adults. *Am J Cardiol* 90: 254-258, 2002.

Weil JV, Jamieson G, Brown DW, Grover RF: The red cell mass--arterial oxygen relationship in normal man. Application to patients with chronic obstructive airway disease. *J Clin Invest* 47: 1627-1639, 1968. doi:10.1172/JCI105854

Weng QZ: A study of the effects of altitude training on the improvement of swimmers' physical function and performances. 10th FINA World Sport Medicine Congress Program and Abstracts, p67, 1993.

Wilber RL: *Altitude Training and Athletic Performance*. Human Kinetics Publishers Inc., IL, USA: 21-79, 2004.

Wolf C, Staudenherz A, Röggl G, Waldhör T: Potential impact of altitude on lung function. *Int Arch Occup Environ Health* 69: 106-108, 1997.

Wright PM, Li W, Ding S: Relations of perceived motivational climate and feelings of belonging in physical education in urban schools. *Perceptual & Motor Skills* 105(2): 386-390, 2007.

秋野豊明：サーファクタントの生化学と今後の臨床展望，日本未熟児新生児学会雑誌6(1)：pp12-19, 1994.

有吉護，松本高明：フランス・フォントロミューでのオリンピック選手の高地トレーニングにおける医事管理．バルセロナ大会を目指しての高所トレーニング．医・科学サポート報告，平成4年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告No.IV，JOC高所トレーニング医・科学サポート第2報，JOC：pp38-41, 1993.

倉島篤行：血液生化学的検査．特発性間質性肺炎とその周辺疾患．間質性肺疾患研究会編．東京医学社．東京：pp84-87, 1996.

黒川淳一，小栗和雄，加藤義弘，井上真人，牧野和彦，渡辺郁雄，松岡敏男：飛騨御嶽高原高所トレーニング合宿における精神健康度調査，日本臨床スポーツ医学 12(3)：458-468, 2004.

小林俊夫，平林久美，小山関哉，八木ひかる，芝本利重，吉村一彦，福島雅夫，久保恵嗣，草間昌三，酒井秋雄，上田五雨：長期高地環境曝露の呼吸筋に及ぼす影響－ラットの横隔膜の変化－，環境科学年報13：32-35, 1991.

園田昌毅：水泳（競泳）における高所トレーニングの理論と実際、その取り入れ方．コーチング・クリニック1(10)：11-13, 1993.

高橋弘毅，原田一暁，白鳥正典，藤嶋卓哉，阿部庄作：末梢気道肺傷害におけるSP-Aの変動と病態との関係，気管支学22(8)：pp657-663, 2000.

鳥居俊, 小林寛通, 川原貴: (財) 日本陸上競技連盟における高所トレーニングの医・科学サポート. 平成4年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告No.IV JOC高所トレーニング医・科学サポート: 3-34, 1993.

(財)日本水泳連盟: 高地トレーニングに伴う安全管理のガイドライン. 2008年11月23日.

野村武男, 萬久博敏: 水泳競技選手の高所トレーニング. 臨床スポーツ医学16: 549-553, 1999.

野村武男, 下山好充: 大学水泳選手について-中国昆明での継年的トレーニング-.浅野克己, 小林寛道,杏林書院, 東京: 69-77, 2004.

日野修一郎, 伊藤和彦, 長谷川了一, 細田健治, 本田泰人, 阿部庄作, 黒木由夫, 秋野豊明: 高感度ヒト肺サーファクタント蛋白A測定キットの開発, 医学と薬学32(4): pp827-836, 1994.

山内亮平, 清水和弘, 古川拓生, 渡部厚一, 竹村雅裕, 赤間高雄, 秋本崇之, 河野一郎: 大学ラグビー選手における合宿期間中の唾液中分泌型免疫グロブリンAの変動. 体力科学58(1): 131-142, 2009.

渡部厚一, 武藤芳照, 鈴木 紅, 藤居 徹, 甲斐美和子, 宮下充正: 水泳選手の高地トレーニング. 平成2年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告No. II 競技種目別競技力向上に関する研究-第14報-, 日本体育協会: 44-50,1991.

渡部厚一，武藤芳照，鈴木 紅，中森智佳子，宮下充正：水泳選手の高地トレーニング。平成3年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告No.Ⅱ 競技種目別競技力向上に関する研究-第15報-，日本体育協会：70-75，1992.

渡部厚一，甲斐美和子，武藤芳照：中国での水泳選手の高所トレーニングの特徴と効果。平成5年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告No.Ⅱ 競技種目別競技向上に関する研究-第17報-，日本体育協会：179-181，1994.