

## 特別講演

運動と免疫 □ NK 細胞の動態を中心として□

鈴井正敏  
明治大学経営学部



「笑いは免疫を上げる」、思い切り笑った後にはナチュラルキラー (NK) 細胞の傷害活性 (がん細胞を殺す力、NK 細胞活性) が増加するという。運動にも同様な効果があるが、その作用は笑いよりもはるかに強い。ただし、問題はその効果が運動中だけの一時的なものであり、運動後には逆に安静値以下に低下してしまうことである。このような運動後の機能の低下は他の免疫細胞にも見られることから、このときにタイミング悪く感染源に暴露すると病気にかかりやすくなるというオープンウインドウ仮説が Pedersen ら<sup>1)</sup>によって提唱されている。これまでにも、マラソンなどの長時間にわたる激しい運動の後には上気道感染症の発生率が増加することが報告されている。これに対して、習慣的にウォーキングなどの適度な運動をしている人では上気道感染に罹患しにくくなることも明らかになっている。つまり、運動は免疫機能に対してプラスにも、マイナスにも影響している。

NK 細胞は名前が示すように殺傷能を持ったリンパ球であり、生体内ではウイルスによる感染やがん化による変性細胞を除去する働きをしている。また、身体的および精神的ストレスに対してもっともよく反応する免疫細胞のひとつである。前述のように一過性の運動においては顕著な傷害活性の増減がみられるが、これは末梢血中の細胞数の変化を反映している。言いかえれば、NK 細胞の増減が他のリンパ球に比べてとりわけ大きいために生じる変化であり、個々の NK 細胞の活性が変わっているわけではない。ただし、NK 細胞に表出する機能分子や活性化／抑制性レセプターには変化が生じる。たとえば、NK 細胞を同定するために使用する表面抗原の CD16 の発現 (細胞膜上の密度) は運動中に低下し、運動が終了すると安静状態に回復する。逆にインフルエンザウイルスなどを認識する NKp46 の発現は運動中には増加するが、運動が終了すると安静値以下に低下してしまう。また、免疫細胞の濃度変化には、血流量の変化やケモカインなどの走化性因子が影響する。NK 細胞の動態にはカテコールアミンが影響しているため、運動中の末梢血濃度はカテコールアミンの増加特性に合わせて、無酸素性作業閾値 (AT) 以上の強度で急激な増加を示す。つまり、AT 以上の運動では運動中の増加も大きいが、AT 以下の運動ではわずかなものになる。これに対して、運動後の低下は増加の程度に依存して大きくなる。

NK 細胞機能は運動が繰り返し行われるようなトレーニングによっても影響を受ける。とくに長期間にわたる強いトレーニングでは、一過性の運動の影響とは異なり、細胞自体の活性が低下する場合がある。ただし、通常良く行われる 1~2 週間程度の運動部の合宿では細胞当たりの活性まで下がることはまれである。

運動に対する免疫機能の変化は多様であり、個人差も大きい。強度が高い一過性の運動やトレーニングの場合には機能の抑制が見られ、生体にとって大きなストレスになることは間違いないと思われる。しかし、この抑制がすべてネガティブな意味を持つのかは現時点では判断できない。若くて体力がある人では、適度な休養と栄養によって、より高い能力を得る刺激となる可能性もある。一方、高齢者や疾病のための運動療法として運動を行う場合には、免疫機能の低下はできるだけ避けることが望ましく、運動強度や時間への配慮が必要である。登山においては運動に加えて、高度に伴う低圧、低温など苛酷な環境条件が加わる。このような特殊環境下における影響についての報告はまだ少ないが、登山人口の増加に伴い、研究の意義は大きい。

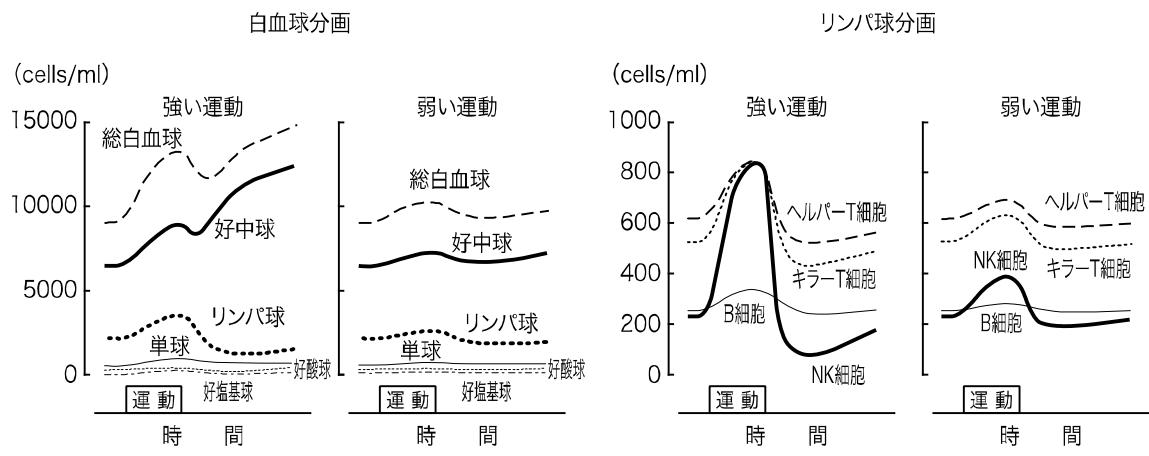


図 1. 一過性の運動にともなう白血球・リンパ球分画の変化<sup>2)</sup>

#### 文献

- 1) Pedersen BK, et al., Med Sci Sports Exerc, 26(2): 140-146, 1994.
- 2) Shinkai S, et al., Int J Sports Med, 13(6), 452-461, 1992.

#### 略歴 :

生年月日 : 1959 年 7 月 21 日

出身地 : 静岡県浜松市

学歴 : 1982 年 明治大学経営学部卒業

1985 年 筑波大学大学院修士課程体育研究科修了

2004 年 博士 (医学) 順天堂大学

職歴 : 1986 年 明治大学経営学部専任助手

1989 年 明治大学経営学部専任講師

1992 年 明治大学経営学部助教授

1994 年 University of Toronto, 客員研究員

1998 年 明治大学経営学部教授

現在の専門 : 運動免疫学, 健康科学

#### 主な業績 :

1999 年 3 月 鈴井正敏 (他 4 名), 無酸素性作業閾値はナチュラルキラー細胞活性の閾値としても考えられるか, 明治生命厚生事業団第 14 回健康医科学研究助成論文集, 76-85.

2000 年 1 月 池上晴夫著「スポーツ医学 II」, 朝倉書店, 第 9 章「免疫機能と運動」, 203~235.

2001 年 11 月 宮村実晴編「新運動生理学 (上巻)」, 真興交易医書出版部, 免疫 4「NK 細胞機能」, 341~349.

2004 年 6 月 Suzui M (他 7 名), Natural killer cell lytic activity and CD56<sup>dim</sup> and CD56<sup>bright</sup> cell distributions during and after intensive training. J Appl Physiol, 96(6), 2167-2173.

2009 年 3 月 宮村実晴編「身体トレーニング」, 真興交易医書出版部, セクション 8 トレーニングと免疫「ナチュラルキラー」, 217~223.

2009 年 9 月 黒澤 尚編「運動器慢性疾患に対する運動療法」, 金原出版株式会社, 第 I 章 基礎編「6. 運動と免疫」, 31~39.

連絡先 : 抄録集に掲載

## シンポジウム 1 登山における 3 条件下の運動生理

### 低圧・低酸素環境下の運動生理

浅野 勝己

筑波大学名誉教授



【はじめ】高度が上昇すると大気圧が低下するため酸素分圧が減少し、低圧・低酸素環境がもたらされる。例えば富士山頂（3776m）では約 0.6 気圧で酸素分圧は平地のおよそ 60%に減少している。さらに世界最高峰エベレスト山頂（8848m）では約 0.3 気圧で酸素分圧は平地のおよそ 30% にまで低下している。従ってこのような低圧・低酸素環境下では、安静時動脈血酸素飽和度（SpO<sub>2</sub>）は高度の上昇に伴い低減し、運動時にはさらに減少する。すなわち平地の約 95% は、富士山頂でおよそ 80% に、さらにエベレスト峰では 30% 以下に低減する。このため各高度での一定強度の運動時酸素摂取量はほぼ同値であるのに対し、最大酸素摂取量は高度 1500m 以上で 1000m 上昇毎に約 10% ずつ指數関数的に低減している。このような低圧・低酸素の高所環境下で登山などの運動やトレーニングを行うさいの生理的応答について明らかにしたい。

#### 1. 高所での運動は平地に比べて相対的運動強度が高くなる。

4300m の高所で平地と同一強度（100W）の運動をした場合。4300m では最大酸素摂取量が平地より 15% 低減するため、平地での最大酸素摂取量の 50% 強度に対し 4300m では 70% 強度となり生理的負担度は 20% 増大することになる。従って高所で平地と同一強度の運動やトレーニングを行うと、平地に比べ相対的運動強度が高まり組織への低酸素刺激を増強することになる。これが高所順応トレーニングの生理学的根拠である。

#### 2. 高所順応トレーニングの必要性と有効性。

低圧・低酸素環境下の高所登山においては、急性高山病の発症がもたらされるため低酸素へのストレス耐性が要求される。このために全身持久性能力を高める高所順応トレーニングの必要性が指摘される。

##### 1) 「福岡チョモランマ峰登山隊 1996」隊員への高所順応トレーニング。

故 菊地和夫博士〔前九州芸工大助教授〕は標記登山隊員 11 人について低圧シミュレーターによる 3500～6500m の 7 種の相当高度で週 1 回 30 分のペダリング（最大能力の 50%）を 8 回、約 2 ヶ月間継続実施された。この結果、各高度での運動時 SpO<sub>2</sub> はトレーニング後に全員上昇し、とくにチョモランマ峰登頂者の 3 氏は他の隊員よりも有意な高値を示した。この結果から本トレーニングは、高所での一定運動時の SpO<sub>2</sub> を上昇させて高所での作業能力の向上に貢献することが明らかにされた。

##### 2) 「群馬高体連ストックカシリ峰登山隊 1993」隊員への高所トレーニング。

隊員 5 人について 4000～7000m 相当の各高度で週 1 回 30 分のペダリング（最大能力の 50%）を 12 回、約 4 ヶ月間継続した。トレーニング前後及び下山後の 4000m 高度での最大ペダリング時の SpO<sub>2</sub>、PRP（心拍数と収縮期血圧の積：心筋酸素消費の指標）およびカテコラミン（ノルアドレナリンとアドレナリン）濃度について比較した。各高度での運動時 SpO<sub>2</sub> は、トレーニング後および下山後に有意な増加を示し、PRP は逆に低減して心筋酸素消費の効率化が示唆された。さらにカテコラミン濃度についても低減が示され、特に下山後に著しい減少が見られた。これらの結果より本トレーニングは高所での運動時酸素運搬能の向上および交感神経系の緊張抑制をもたらす事が示唆された。

##### 3) 6000m 相当高度での約 4 ヶ月にわたる 8 回の 30 分ペダリング時の ACTH および ADH 分泌応答。

6000m 高度での運動後の ACTH および ADH は一般登山家では最初は急増するがその後次第に低減傾向を示す。他方、一流登山家では最初から低水準で明らかな変化は認められなかった。これらの成果より本トレーニングは下垂体・副腎系のストレス性、水電解質貯留性の内分泌応答の減弱化をもたらし浮腫などの急性高山病の発症を抑制する可能性を示唆している。

【まとめ】低圧・低酸素環境下の高所順応トレーニングの有効性について次の3項目の生理的効果から急性高山病の予防に貢献することが指摘される。

1. 高所における運動時的心血管系機能と有気的作業能の向上。
  - 1) 運動時心拍数および収縮期血圧の低下。一心筋予備力の増大。
  - 2) 動時肺動脈圧上昇の抑制。一肺水腫発症の予防。
  - 3) 無気的作業閾値及び最大酸素摂取量の増大。動脈血酸素飽和度の増加。
2. 高所における運動時の交感神経緊張の抑制。  
カテコラミンの分泌抑制 一運動時血圧の低下。
3. 高所における運動時の内分泌亢進の抑制。  
ストレス性ホルモン ACTH, ADH の分泌抑制。肺水腫、脳浮腫の予防。

#### 【引用文献】

浅野勝己・小林寛道 編著：高所トレーニングの科学（杏林書院 2004）

浅野勝己：高所順応トレーニングの有効性と必要性。登山医学 17 : 18~22. (1997)

菊地和夫：中学生を含む一般登山家への高所順応トレーニング。登山医学 17 : 8~13. (1997)

略歴：

1936年3月18日生まれ。岡山県出身。  
1965年3月東京大学大学院修士課程卒、運動生理学専攻  
1965年4月東邦大学医学部生理学教室助手。  
1973年4月東邦大学医学部講師。  
1974年4月東京教育大学体育学部助教授。(運動生理学)  
1975年4月筑波大学体育科学系助教授。  
1980年9月～1981年8月スウェーデンカロリンスカ研究所留学(文部省長期在外研究員)。  
1988年6月筑波大学体育科学系教授。  
1995年4月筑波大学大学院博士課程研究科長。  
1999年3月定年退官。筑波大学名誉教授。  
2003年11月埼玉東洋医療専門学校校長。  
2005年11月NPO富士山測候所を活用する会理事長。  
2007年～2010年3月日本伝統医療科学大学院大学教授。  
専門は高所生理学、運動生理学。

主な業績：

1. “運動生理学概論”編著。杏林書院、2002.
2. “健康スポーツ科学”共編著。文光堂、2004.
3. 1995年 チベット・ニンチンカンサ峰登山隊・栃木高体連・学術隊員。
4. 1998年 中国・ムスターク・アタ峰登山隊・栃木山岳連盟・学術隊員。

連絡先：抄録集に掲載

# シンポジウム 1 登山における3条件下の運動生理

## 低温環境下の運動生理

小野寺昇  
川崎医療福祉大学



### 1. はじめに

著しい気温の低下は、寒冷環境ストレス刺激となり、体熱放散が体熱産生を上回る。体温低下を惹起し、末梢血管が収縮する。さらに環境温が低下すれば、血液の末梢循環障害に発展し、凍傷に至ることもある<sup>1)</sup>。体温が低下すると、体の内側と外側の体温差が広がらない様にするために全身の筋を収縮させる。全身を「ふるえ（シバリング）」させることで発熱し、体温低下を予防する。長時間寒冷に曝露されると、筋の脱力や協調作用が低下し、歩行の調和（歩様）が乱れる。このことがわずかな上り道の凹凸に対応できず「つまづく」ことになる。核心温度（深部体温や直腸温など）が35°C前後では、見たものと自分の認識が一致しなくなり、環境に対する反応が鈍くなる。低温環境下で体温が著しく低下すれば、重篤な事故に至る可能性が高まる。

### 2. トムラウシ山（2009年）の遭難

トムラウシ山遭難事故調査報告書<sup>2)</sup>は、2009年7月に発生したトムラウシ山（2141m、大雪山系）の遭難事故が、急速な環境温度への変化で生じた低体温症によるものと推測した。低体温症に陥ると、体温低下の速度が急激に増加することが特徴である。登山医学ハンドブック<sup>1)</sup>には、低体温の危険限界が28°C前後と記載されている。トムラウシ山遭難事故調査報告書<sup>2)</sup>は、心停止の体温が28°C以下と仮定した立場に立ち、2時間で9°Cの体温低下を推測した。当日の遭難の様子からふるえ熱産生では体温低下を抑制できなかったこと、体温低下が急激であった為に「ふるえ」の経過がなく、意識障害に移行したこと、「ふるえ」と同時に「眠気」が生じたこと等の事実をあげ、体温低下と症状の段階的な進行が必ずしも一致しないことを指摘した。この指摘は、特に重要な知見であり、低体温に関する常識を覆す速さで低体温症へ進むことを示唆する。これまでの常識よりも速い段階からの判断と行動（低体温症対策）が求められる。

### 3. 低温環境下の対策

雪洞は主に冬季雪山のビバーク時の寒さ対策として用いられている。これまでの雪洞調査では、外気温よりも雪洞内の気温が僅かに低値であった。概ねその差は2~5°Cである。雪洞内は、外気を遮断するが、必ずしも温かいという表現は適切ではない。雪洞滞在時の低体温予防のための方策として、①断熱版、②保温下着、③保温手袋、④保温靴下、⑤温熱シート、⑥非常用保温アルミシートなどがあげられる。図1a,bに示した心拍数と直腸温変化は、特に対策をしなかった時の例である<sup>3)</sup>。心拍数低下と直腸温低下は、寒冷曝露時の特徴的な生理指標変化である。この状態で雪洞に留まれば直腸温が段階的に低下し、低体温症に移行するものと予測できる。一方、図2a,b,cは、①、②、③、④、⑤を使用した時の例である<sup>4)</sup>。心拍数低下と直腸温低下が抑制され、主観的な感覚の寒さ指標の上昇も抑制できる。さらに、非常用保温アルミシートを方策に加えれば<sup>5)</sup>、図3a,b,cの様に、生理指標と主観的な指標の両指標の低下を抑制できる。実際に雪山でビバークになれば、実験の様な準備は不可能であろう。しかしながら、断熱板の代わりにザックを使用し、ザックを下にして腰を降ろせば有効である。汗をかいた状態であれば乾いたものに着替え、体温の低下を抑制してほしい。非常用保温アルミシートは、特に有効である。1枚200g前後である。ぜひとも2枚携帯してほしい。

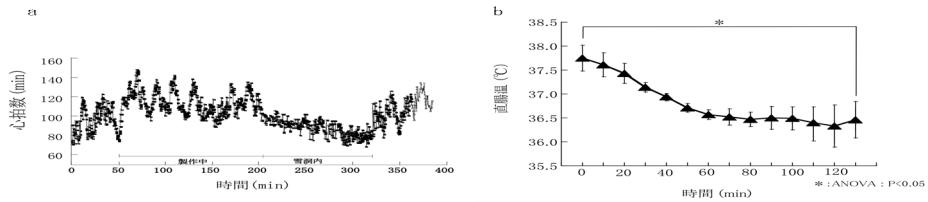


図1. 心拍数と直腸温の経時的変化

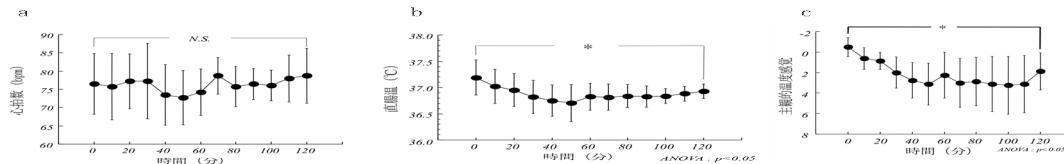


図2. 心拍数と直腸温及び主観的温度感覚の経時的変化

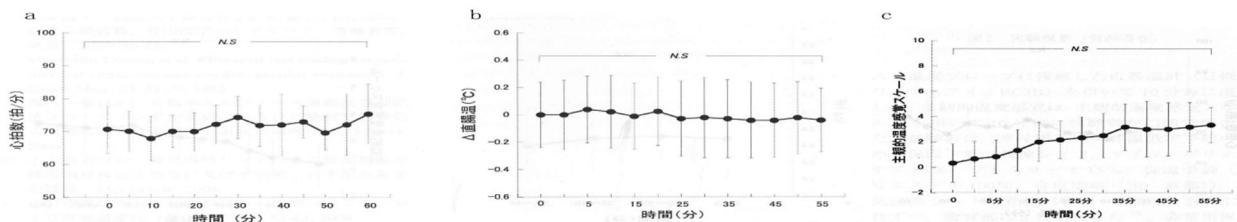


図3. 心拍数と直腸温及び主観的温度感覚の経時的変化

#### 4. 高齢登山者の対策

高齢者は若年者と比較し、生理機能（寒冷適応の低下や劣れ）が低い。寒冷に曝露されれば、①体幹部皮膚温の低下が著しいこと、②末梢部の血液量減少による放熱効果が劣ること、③収縮期血圧が上昇すること、④寒さの訴えが少ないとこと、⑤寒さの感受性が衰えること、などが特徴的な変化である。高齢者の冬季登山は、生理的負担を増大させる<sup>1)</sup>。寒さ対策に重きを置いた装備携帯が望ましい。

引用文献：1)小野寺昇：低体温. 日本登山医学会編集：登山の医学ハンドブック，杏林書院，東京，2009. 2)トムラウシ山遭難事故調査特別委員会：トムラウシ山遭難事故調査報告書. 日本山岳ガイド協会，東京，2010: 28-35, 49-55, 56-63, 64-79. 3)小野寺昇ほか：雪洞における心拍数，舌下温，および直腸温変化. 登山医学, 24:61-63, 2004. 4)小野寺昇ほか：蒸気温熱シート使用時雪洞滞在時の心拍数，直腸温および主観的温度感覚の変化. 登山医学, 27: 91-94, 2007. 5)小野寺昇ほか：非常用保温アルミシートを用いた雪洞滞在時の低体温対策. 登山医学, 30: 37-41, 2010.

#### 略歴：

1979年 福島大学 卒。1981年 東京学芸大学大学院 修了。1983年 東京慈恵会医科大学 助手。1991年 川崎医療福祉大学 助教授。1995年 同 教授。現在に至る。

#### 主な業績：

1. 蒸気温熱シート使用雪洞滞在時の心拍数、直腸温及び主観的温度感覚の変化. 登山医学, 第27卷1号 2007.
2. 雪洞滞在時の心拍数、直腸温および主観的温度感覚からみた寒冷環境への適応. 登山医学, 第28卷1号 2008.
3. 雪洞滞在時の心臓副交感神経系活動からみた寒冷環境への適応. 登山医学, 第29卷1号 2009.
4. 非常用保温アルミシートを用いた雪洞滞在時の低体温対策. 登山医学, 第30卷1号 2010.
5. 非常用保温アルミシートの装着が生理的ストレス指標と酸化ストレス指標に及ぼす影響. 登山医学, 第31卷1号 2011.

連絡先：抄録集に掲載

## シンポジウム 1 登山における 3 条件下の運動生理

### 登山における低栄養下での運動生理

山本正嘉

鹿屋体育大学スポーツ生命科学系



登山は、他のスポーツと比べると運動時間が非常に長い。また、それを数日間から数週間にわたった続ける場合もある。したがって、栄養補給（水分も含む）のよしあしは、登山のパフォーマンスだけではなく、登山者の健康や、場合によっては生命にも関わりを持つことになる。

スポーツ選手にとっての理想の栄養補給について考える、スポーツ栄養学は著しく発達している。しかし、これを現実の登山にあてはめようすると、理想との間に大きなギャップがあることが多い。すなわち、食料も水も重量があるために、登山では十分に持つて行けない、あるいは持つて行かない、というケースがしばしばある。加えて高所登山では、食欲や飲水欲が低下する、消化吸収が不十分になる、という問題も生じてくる。

たとえば、アルプスやヒマラヤ登山で、1日当たりのエネルギー消費量を二重標水法で測定してみると 3000kcal 台という結果が多いが、一方で 5000kcal を超えるという報告もある。また、イギリス隊によるエベレスト初登頂に、生理学的な面から大きく貢献した Pugh は、ヒマラヤで 7 時間の行動をすれば、3-5 リットルの水分補給が必要であるとしている。一方で、現実のヒマラヤ登山での頂上アタック時には、朝食も含めて 1000kcal 以下の行動食と、1 リットル以下の水分で、15 時間前後の行動をする場合も少なくない。

このような悪条件に対してどう対処すればよいのかという解答は、現在のスポーツ栄養学の知識からでは得られにくい。一方、古くから飢餓に関する栄養学の研究も行われてきた。しかしこちらも、活動レベルが低い人を対象としており、登山にそのまま適用することは難しい。

以上のように、栄養学的に見てかなりの悪条件、かつ、それにどう対処すべきかも明確ではないままに、実際にはたくさんの登山が行われ、その大多数は無事に終わっている。この事実は、栄養学的には相当な悪条件でも、人間は耐えられることを示している。しかしその反面、事故がいつ起きても不思議ではない状況で、多くの登山が行われているともいえる。

今後は、登山者にとって最も切実な「現実的にどうすればよいのか?」という部分について、明らかにしていかなければならない。そのためには、できるだけ多くの事例を収集し、データとして残していく必要がある。さらに、それらを整理し、自分の身体にとって許容できる栄養補給のあり方について、登山者自身で考えていくような資料を提供することが重要である。

本発表では、低栄養状態で登山をする際の運動生理について、日本での日帰り登山から、長期間にわたる遠征登山まで、以下のような事例をもとに、様々な視点から考察することとしたい。

また「現実的」な対策についても考えてみたい。

#### A. 日本での登山に関して

- ・栄養補給の視点から見た日本の山での事故
- ・トムラウシ山での低体温遭難者の栄養摂取状態
- ・低栄養環境の積極活用—過剰な体脂肪の減量に対する登山の有効性

#### B. 海外での高所登山に関して

- ・8000m 峰登山における栄養補給
- ・高所での困難な氷雪クライミング時の栄養補給
- ・遭難時の栄養摂取状態

#### <略歴>

1957年 神奈川県横須賀市生まれ

1984年 東京大学大学院修士課程修了（教育学研究科体育学専門課程）

1984年 国際武道大学助手, 1989年より講師, 1994年より助教授

1998年 鹿屋体育大学助教授, 2005年より教授

2006年 同大学・スポーツトレーニング教育研究センター長

博士（教育学），日本登山医学会理事，国立登山研修所専門調査委員，日本山岳協会医科学委員会常任委員，日本山岳ガイド協会評議員

専門は運動生理学とトレーニング科学。人間の運動能力の限界を引き上げるために、瞬発力、持久力、疲労、回復などの研究に取り組み、その成果をもとにスポーツ選手への教育と指導を行う。あわせて登山の運動生理学の研究をライフワークとして行っている。三浦雄一郎氏の70歳と75歳でのエベレスト登頂時にはトレーニングサポートを行った。登山は中学生時代に始める。主著は『登山の運動生理学百科』（東京新聞出版局, 2000年）。2001年に、日本登山医学研究会奨励賞および秩父宮記念山岳賞を受賞。

#### <登山歴>

1980年 3月 黒部別山大タテガミン第二尾根（積雪期初登）

1980年 6-9月 シヴリン北稜（初登）

1981年 1月 アコンカグア南壁（アルパインスタイル、上部は新ルートを登攀）

1983年 3月 知床半島一周（流氷上をスキー利用で）

1986年 8月 利根川本流単独溯行

1987年 4-5月 日高山脈全山縦走（15日間で単独無補給縦走）

1995年 3-5月 チョーオユー（無酸素登頂）

2003年 12月 アコンカグア（BCから4日間でのスピード登頂）

2005年 8月 ムスタークアタ（BCから7日間でのスピード登頂）

連絡先：抄録集に掲載

## シンポジウム2 高山病になる人・ならない人

高所の体液調節からみた急性高山病になりやすい人,  
なりやすい行動

山内武巳  
石巻専修大学理工学部



高所暴露は尿量とナトリウム排泄量の増加を引き起こすが、高所順応が不十分のときは体液貯留を生じ、急性高山病の発症リスクが高まるとしている。低酸素刺激に対する水・電解質代謝の応答はアルドステロンの変動と密接な関係にあり、今回のテーマである急性高山病になりやすい人、なりやすい行動を検討する際の一つの見方として筆者らのデータを中心に論じてみたい。

アルドステロンは副腎皮質から分泌され、腎尿細管でナトリウム・水の再吸収とカリウム・水素イオンの排泄の役割を担っている。調節因子は ACTH (視床下部一下垂体-副腎皮質系)、レニン-アンジオテンシン系 (RA 系)、血漿カリウム濃度が知られている。

高所におけるアルドステロンの動態は海拔高度によって異なるとされている。海拔高度 4000m 前後に暴露した場合、アルドステロン分泌は低下するとの報告が多い。一方、海拔高度が 6000m を越えると逆に増加に転じることが報告されている。これは合成コルチコイド投与実験から主に視床下部一下垂体-副腎皮質系が賦活されたためと考えられている。

海拔高度とアルドステロンの関係は先に述べたが、4000mに暴露した際にアルドステロン分泌の亢進がみられる人は少なからずおり、このタイプは AMS (+) になるリスクがあると思われる。このアルドステロン応答の差異を利用して、高所登山の出発前に 4000m 前後に相当する急性低酸素負荷試験を行い、その際のアルドステロン応答を調べることで急性高山病の発症リスク判断をできないだろうか？高所での水・電解質調節ホルモンの変動は一致した見解の得られないことがある。その大きな原因是低酸素暴露方法の違いとされる。基準となる急性低酸素負荷試験の方法を構築し利用することで、低酸素ストレス負荷試験の基準値と個人差が明らかになってくるのではなかろうか。

高所登山では低酸素刺激に加えて登山という運動刺激を考慮する必要がある。平地、高地に関わらず高強度の運動刺激はアルドステロン調節因子の全てを上昇させ、アルドステロン分泌は増加する。海拔高度 4000m 以下であっても運動による視床下部一下垂体-副腎皮質系の賦活が強ければ低酸素刺激によるアルドステロン分泌阻害作用を抑制すると考えらる。視床下部一下垂体-副腎皮質系を賦活させない登山の方法は相対的運動強度を高くしないように配慮することである。つまり、荷物を軽くしてゆっくりと歩き、そして水分摂取量は十分に気をつけることであろう。逆の行動を行えば急性高山病のリスクは当然高まる。一方、海拔高度 6000m を越えるとアルドステロン分泌は増加傾向を示す。当然運動刺激がさらに分泌を促進させる。6000m 以上のアルドステ

ロンの変動方向はそれまでの日程における高所順応の成功の可否を判断するうえで重要な指標と考えられる。

最後に順応の指標として尿 pH を評価したい。高所順応の指標として最も利用される指標は SpO<sub>2</sub> である。拘束性もなく、瞬時に測定できることがその理由であるが、簡便な故、測定値に影響を与える要因も多い。測定直前の呼吸の仕方や姿勢などによって値が大きく変動することが知られている。筆者は順応のモニタリング指標として SpO<sub>2</sub> に加えて、夜間の尿量と尿 pH の測定を推奨したい。高所では低酸素刺激による呼吸促進により呼吸性アルカローシスが生じる。短期的には継続的な呼吸刺激を維持するために腎において重炭酸イオンの再吸収を抑制され、尿 pH はアルカリ性に傾く。高所順応のモニタリングの指標としての妥当性と信頼性は担保できると考える。

略歴：

長野県出身（43歳）

1992年 金沢大学教育学部卒業

1997年 中京大学大学院体育学研究科博士後期課程修了

1997年 石巻専修大学理工学部講師

2006年 石巻専修大学理工学部准教授

2007年3月-5月 ネパール Tribhuvan University に短期在外研究員

専門：

低酸素環境などの特殊環境下における生理応答を最近は睡眠という切り口から調べています。

著書：

『睡眠学』 第II部 16章-3 高所を担当。日本睡眠学会編 朝倉書店。

『高所 運動生理学的基礎と応用』 第I章XII体液変化を担当、NAP社。

体液調節に関する業績：

Yamauchi T, Harada T, Matsumura Y, Kurono M, Tsukanaka A, Honda A, Mori S and Matsui N. Regulation of aldosterone secretion under simulated extreme altitude conditions. 登山医学 30: 140-146, 2010

Yamauchi T, Harada T, Kurono M, Matsui N. Effect of exercise-induced acidosis on aldosterone secretion in men. Eur J Appl Physiol 77: 409-412, 1998.

Yamauchi T, Harada T, Matsumura Y, Sueda K, and Matsui N. Effect of acid-base disturbances on aldosterone secretion in man. J Endocrinol Invest 20: 576-579, 1997.

連絡先：抄録集に掲載

## シンポジウム2 高山病になる人ならぬ人

### 高所における低酸素症とその対処

野口いづみ

鶴見大学歯学部歯科麻酔学教室



#### 1. 急性高山病にかかりやすさについて

急性高山病の原因として様々なものが挙げられているが、主に低圧低酸素環境下における低酸素血症が誘因となり、低酸素換気応の低い者で発症しやすいと考えられている。急性高山病のかかりやすさ、高所耐性の良し悪しには個人差があり、遺伝的素因の影響が大きい。近年、遺伝的な検索が積極的に行われている<sup>1,2)</sup>。嚆矢として1998年のMontgomeryらは、一流英国人登山家では、ACE遺伝子II型の占める割合が多く、DD型の者には8000m峰無酸素登頂をした者がいなかつたことを報告した。国内の研究として、花岡らは高地肺水腫の既往者で高い陽性率を示す白血球抗原があることを示した。高地住民の高所馴化については人種差があり、アンデス住民ではヘモグロビンの増加が大きいが、チベット住民では少なく、NOが増加していることが報告されている。これらの研究成果が低地居住者にも外挿されることが期待される。

#### 2. 高山病になりやすさとSpO<sub>2</sub>と脈拍数

高所では酸素分圧が低く、動脈血酸素飽和度(SpO<sub>2</sub>)は低下し、代償的に心拍数は増加する。演者がデマバンド山(5671m)で得た結果では、高所順応が順調で、体調が良いものほどSpO<sub>2</sub>/脈拍数比は高い、つまり、SpO<sub>2</sub>は高く、脈拍数の増加は少なかった。高所クロスともいべき現象、つまり、SpO<sub>2</sub>は低下し、脈拍数が上昇することで両値が交差する現象もあり、低い高度で高所クロスを生じるものでは高所耐性が悪い、すなわち、高山病になりやすかった。ただし、高齢者では脈拍数の代償的増加が少ない者もいるので、年齢などを勘案することも必要である<sup>3)</sup>。

2009年の玉珠峰(中国、6179m)で、登頂率とSpO<sub>2</sub>/脈拍数比について8名の学生で検討した。両値が高かった上位4名は高山病の症状が少なく、登頂できたが、下位4名では登頂率は5割だった。このことは、両値が高いものは高所におけるパフォーマンスが良く、登頂できる可能性が高いが、同時に、値が低い者でも必ずしも登頂出来ないことを意味するわけではないことを示す。登山にはモチベーションの強弱なども関係し、登頂の可否については両値によるクリアーライン引きはできないと思われる。なお、高所順応トレーニングとして富士山に登った回数と低酸素室を使った回数が多い者で、高所順応が良かった<sup>4)</sup>。

#### 3. 急性高山病を防ぐには

高所では睡眠中に低酸素症が悪化することが多く、急性高山病を惹起する要因となる。演者は

口腔内装置（マウスピース）が睡眠時の低酸素症に及ぼす効果について研究を行っている。口腔内装置は閉塞性の睡眠時無呼吸症候群の治療に使われ、下顎を前方へ引き出す効果がある。低圧低酸素室と富士山山頂で、夜間就眠時の  $\text{SpO}_2$  を平均値で 4 %程度上昇させた。口腔内装置の装着によって  $\text{SpO}_2$  が 30%以上も上昇する者もあり、上昇が大きいものでは高山病の症状の改善効果も大きいと思われる<sup>5)</sup>。

また、最近のナノテクノロジーの発展を背景に開発された高濃度溶存酸素水の低酸素症へ及ぼす効果について、富士山山頂で検討した。その結果、高濃度溶存酸素水は  $\text{SpO}_2$  を飲用直後から、大腿部組織内酸素飽和度はそれより遅れて、最高 2~3%程度上昇させた。今後さらに検討したい。

高山病の予防・治療薬として炭酸脱水素酵素阻害薬アセタゾラマイド（ダイアモックス<sup>R</sup>）が一般的に用いられている。しかし、脱水をもたらすことなどから、問題があり、欧米では使用に懐疑的である。高所と登山はともに酸化ストレスを増大させる。長澤らは、抗酸化剤であるオリゴノールについて、低圧低酸素環境下での運動時負荷時の抗酸化効果について検討中であり<sup>6)</sup>、今後の発展を期待したい。

略歴：横浜市出身。東京医科歯科大学歯学部卒業、同大学歯科麻酔学教室医員として在籍後、鶴見大学歯学部口腔外科学教室へ移動、現在、同大学歯科麻酔学教室准教授。杏林大学医学部麻酔科学教室非常勤講師などを歴任。専門は麻酔学（全身管理、全身麻酔、鎮静法、救急医学など）。日本歯科麻酔学会専門医、日本障害者歯科学会認定医、日本登山医学会理事、日本山岳文化学会常任理事など。

業績：

- 1) Ohno H et al: Is angiotensin I-converting enzyme I/D polymorphism associated with endurance performance and/or high altitude adaptation ?, *Adv Exerc Sports Physiol*, 2005, 11(2):41-54,
- 2) Shirato K et al: Hypoxia-inducible factor-1 $\alpha$  suppresses the expression of macrophage scavenger receptor 1, *Pflügers Archiv : European Journal of Physiology*, 2009, 459:93-103,
- 3) 野口いづみ：酸素飽和度/脈拍比の体調予測の指標としての可能性□ イラン・デマバンド山（5,671m）登山における検討□、*登山医学*、1993,13 : 99-106,
- 4) 野口いづみ他：中国青海省の玉珠峰（6179m）短期登頂の医学的検証□ 日中韓三国交流学生登山における検討□、*登山医学* 2010,30:125-131,
- 5) 野口いづみ他：低圧低酸素環境下における睡眠時の低酸素症に対する口腔内装置の効果□ 中高年者における検討□、*登山医学*、2009, 29 : 265-270,
- 6) 長澤純一他：低圧・低酸素環境が引き起こす酸化ストレスとオリゴノールの抗酸化効果、*登山医学*、2010, 30 : 118-124。

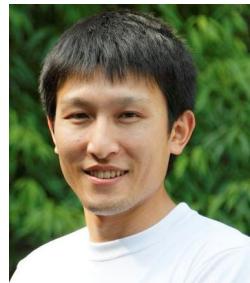
連絡先：抄録集に掲載

## シンポジウム2 高山病になる人・ならない人

### 低酸素室を利用したバイオフィードバックトレーニング

安藤 隼人

株式会社ミウラ・ドルフィンズ



筆者らは、2005年から、スポーツ選手および一般登山者向けに開発された常圧低酸素施設を用いて、高所で登山やトレッキングを行う旅行者に対し、事前に低酸素環境に対する順応トレーニングサービスを行ってきた。トレーニングの前には、高度4000m相当（酸素濃度12.7%）の環境下で座位安静を20分、自転車エルゴメータによる運動負荷を20分、横臥位での睡眠を30分行い、連続的に動脈血酸素飽和度（SpO<sub>2</sub>）と脈拍数（PR）を測定する「高所テスト」を実施している。そして、高所テストで得られた結果と先行研究を比較し、高山病発症リスクについて解説やアドバイスを行っている。

その中で、特に重要なのが呼吸法についてである。高所では大気酸素分圧の減少により吸気酸素含量が減少し、低酸素血症SpO<sub>2</sub>が減少する。高所において腹式呼吸や口すばめ呼吸などの呼吸法を行うことにより、SpO<sub>2</sub>の増加や心拍数の減少が報告されており、急性高山病の予防や改善に有効であるとされている。

しかし、弊社で行っている高所テストでも、利用者に腹式呼吸や口すばめ呼吸法について解説するが、先行研究のようなSpO<sub>2</sub>の増加や心拍数の減少が見られない利用者も少なくない。この原因として、先行研究の被験者が若年健常者であるのに対して、弊社の利用者は中高年利用者が多いことが考えられる。中高年者は若年者に対し加齢により肺活量や一秒量が低下し、ガス交換が効率よく行えなくなることが原因と考えられる。また、若年者であっても、腹式呼吸や口すばめ呼吸を行うよう指示しても、SpO<sub>2</sub>の増加や心拍数の減少が見られない利用者もいる。

そこで弊社では、高所テスト後に行う低酸素トレーニングについて、呼吸法によりSpO<sub>2</sub>の増加や心拍数の減少を意識的に行える為のバイオフィードバックトレーニングと位置づけ利用者にアドバイスしている。実際には、高度4000m相当の低酸素室内で、座位安静中にSpO<sub>2</sub>が上昇して低酸素血症を改善できた利用者でも、2-3Mets程度の踏み台昇降運動中には、意図的な呼吸によりSpO<sub>2</sub>を上昇させる事の出来ない利用者もいる。また、高度4500m相当（酸素濃度12.0%）の低酸素室内で同様の運動中に、呼吸法によりSpO<sub>2</sub>を意図的に増加させることができた利用者であっても、高度5000m相当（酸素濃度11.2%）の低酸素室内では、SpO<sub>2</sub>を増加させることができない場合も多い。

今回のシンポジウムでは、高山病によくなるという自覚のある方、あるいはリスクがあると考えられると医学的に診断された方が、どのように対策を行えばよいかについて、弊社でのトレーニングの取り組みと、トレーニング中に得られた実践例を紹介しながら考察する。

## 略歴 :

1979 年鹿児島生まれ。鹿屋体育大学体育スポーツ過程修士卒。山岳専門旅行社を経て  
株式会社ミウラ・ドルフィンズの低酸素トレーニング主任。  
オリンピック選手・競輪選手などのプロアスリートに対するトレーニング指導をはじめ、海外高  
所登山者への高所順応指導、特定保健指導に至るまで、健康増進と低酸素に関する運動処方が専  
門の健康運動指導士。

## 主な業績 :

低酸素トレーニングを利用した中高年の高度順応にかかる負担を軽減する試み - カラパータルト  
レッキングツアーを対象として -

安藤隼人\*1, 安藤真由子\*1, 山本正嘉\*2 \*1 株式会社ミウラ・ドルフィンズ, \*2 鹿屋体育大学ス  
ポーツトレーニング教育研究センター 登山医学, 28(1) : 159-166, 2008.

日本登山医学会評議員 学会認定山岳医実行委員会委員

登山者検診ネットワーク委員会委員

日本学生自転車競技連盟 理事 強化普及委員会 委員

連絡先 : 抄録集に掲載

## 教育講演

### 現代登山事情を斬る

根上 優

宮崎大学教育文化学部



登山は、決して安全なものでも、予測可能なものでもない。いわんやルールのある冒険でもない。それは「リスクを冒すこと」を理想とする活動なのだ。登山においてもっとも称賛されるべき人物こそ、自ら身体を最大限にまで危険に晒しつつ、その危機を乗り切ることができる者なのだ( John Krakauer, *Into Thin Air*, 1998 )。

このたび、「現代登山事情を斬る」という演題で社会学の立場から登山について語ることになったが、ここでいう「現代」とは一体、いつ頃をもって始まるのだろうか。また「登山事情」とは一体、どのようなことを指すのだろうか。学問的パースペクティブによって若干の違いがあるだろうが、「現代」を1990年代後半頃からとみると、大方の識者の賛同が得られるものと考えられる。そして、このように「現代」という時代を限定した背景には、90年代後半から現在まで、わが国の登山界に「中高年の登山」と「山ガール」と称する若い女性たちの登山」が「新しい山の文化」として台頭し、近代アルピニズムの精神と根底から相容れない深刻な問題を引き起こしているとの判断があることも、おそらく認識を共有できるのではないだろうか。

現代の「山の文化」の特徴を要約するならば、それは「マス・メディアイベントとしての登山」であり、また「消費文化としての登山」であるということに尽きるだろう。特に、1995年にNHK教育テレビで放映された登山家・岩崎元郎氏の『中高年のための登山学』(NHK)が「団塊の世代」□厳密には昭和22~25年に誕生したベビーブーム世代を指すが、高度経済成長を担った世代として昭和15~30年生まれの人々まで拡張できる□に与えた影響は大きく、経済的に豊かな中高年のライフスタイルを「マーケット」にすべく注視していた(広い意味でマス・メディア産業の一種である)「ツアーツリピュア」らは、一斉に「中高年の登山」を「消費文化」として「商品化」した。その後もNHKは、女性で初めてエベレスト登頂に成功した田部井淳子氏らを前面に立て、『山で元気に 田部井淳子の登山入門(趣味悠々)』(2000)、『田部井淳子のあんしん!たのしい!山歩きお悩み解決BOOK(趣味悠々)』(2010)、『田部井淳子のはじめる!山ガール』(2010)、『あなたもこれから山ガール(チャレンジ!ホビー)』(2011)という新企画を次々と打ち出し、「山ガール」や「前向きでキラキラ 山に登る女性はかっこいい!」といった魅惑的な「キャッチコピー」で「若い女性」を山々に惹きつけてきた。こうして現在、中高年のツアーツリピュアをきっかけに始まった「山ガール」の登山は、ネットを通じてツアーツリピュアと結びついただけでなく、登山用品を販売する「スポーツ産業」とも連携を深めながら、関連商品とファッションの写真で彩られた女性雑誌□『ランドネ』や『FALO』など□をも生み出している。まさに「マス・メディアイベントとしての登山」と「消費文化としての登山」は、メディアとツアーツリピュアとスポーツ産業が三位一体となって生み出した社会現象だったのである。

このような社会現象が孕む問題を把握するためには、「後期資本主義社会」すなわち「消費社会」の構造に関する理解が必要である。紙数の関係上、ここでは詳述できないが、消費社会においては「登山」は商品化され、登山に関する「行為主体」の「リテラシー」と「思考判断力」、そして「自己認識」は衰退する。90年代、このような「山の文化」の孕む構造的問題は社会の「前景」に立ち現われることはなく、どちらかと言えば「背景」に潜んでいた。それが一気に社会の「表」

に顧われるきっかけとなったのが、2009年7月に北海道大雪山系トムラウシ山で起きた大量遭難事故である。この遭難「事故」は、「真夏に低体温症で8人の死者が！」と、メディアを通じて大きな象徴効果を放ち、時間の経過とともに多くの「エピソード」を残しながら社会的「事件」として拡大していった。

その後、トムラウシ山遭難事故調査特別委員会の「調査報告書」(2010)や、トムラウシ山の遭難事故を考えるシンポジウムなどを通じて、事故の直接的原因は「ガイドの判断ミス」と結論づけられたが、消費社会においては、その責任の主体は明確ではなく、事故を教訓とするには、メディアも専門家集団も「注意喚起」を促すことしかできない。社会学的観点からみたとき、一般に「遭難」という出来事は多面的な現象であり、その原因を「低体温症」や「ガイドの判断ミス」へと一義的には還元できない多くの側面をもっている。その点では、「遭難」という事象は、理論的・多元的に解釈すべき、より複雑な社会・文化的構造と意味を内包しているものと捉え、今後、こうした構造と意味を記述的に引き出す方法論を探求することも必要となつてこよう。

本講演では、「自らリスクを冒すこと」を含意する「エッジワーク」(edgework)の観点から、そのような性格をもつ「登山」という行為と「遭難」という事象の社会学的解釈の地平□「リスク社会」における「リスク文化」の意味と価値□を明らかにし、現代の登山事情を語る一つの切り口を提示したい。

略歴：学歴：日本体育大学体育学部武道学科（剣道専攻）卒業

東京教育大学大学院体育学研究科修士課程修了

職歴：東北大学教養部助手

東北大学医療短期大学部助教授

鳴門教育大学助教授

宮崎大学教育文化学部教授

現在の専門：スポーツ社会学、スポーツ文化論、リスク論、武道論・剣道

主な業績：『隻流館の挑戦 柔道勝負合わせ千本の試練』(社団法人隻流館、2003年)

「エッジワークの社会学一人はなぜリスクを冒すのか」『生き延びること一生命の教養学V』所収、慶應大学出版会、2009年

「武道の伝統的稽古法と儀礼化した暴力—剣道3時間立切試合一」『国際化時代の武道を考える』現代スポーツ評論21、創文企画、2009年

「保育環境の整備とリスクガバナンスに関する研究」保育科学創刊号、2011年

『未来を拓く大学体育 授業研究の理論と方法』福村出版、2012年

連絡先：抄録集に掲載

## ランチョンセミナー（大会会長講演）

### 登山におけるプレハイドレーションという考え方

齊藤篤司  
九州大学健康科学センター



山岳遭難における原因の 73.6%を滑落・転倒・転落・道迷いが占める (H22、警察庁)。様々な要因が考えられるが、その 1 つとして注意力の低下が考えられる。注意力は加齢に伴い低下し、特に高齢者での低下が大きい。このことは遭難者の約 76%を中高年者が占めることと関わる可能性が考えられる。また、注意力を低下させる要因の 1 つとして脱水が考えられる。

脱水は身体的、精神的パフォーマンスの低下を引き起こすことが報告されている。①身体的パフォーマンスへの影響（有気的作業能力：体重の 2%の脱水は一定強度の運動で疲労困憊に至る時間を短縮 (Fallowfield JL,1996)、無気的作業能力：体重の 3%の脱水は上肢、下肢ともに無気的パワーを低下 (Jones LC,2008)。②精神的パフォーマンスへの影響（高温環境下で体重が 1~4%減少するまで運動した結果、体重減少に伴い、短期記憶や計算能力が低下 (Gopinathan PM,1988)、異なる気温・湿度環境での 1~3%の脱水後、提示された幾何学模様を選択する、ランダムに点灯するライトを手でタッチする、といった認知機能や視覚と手の協調関係の低下 (Sharma PM,1986)、指定された周波数の音を聞いたときにボタンを押す作業において脱水状態では、課題遂行に必要な努力や集中力の必要性が増加 (Szinnai G, 2004)）。

したがって、脱水に伴う体力や認知機能の低下が登山者の遭難をもたらしている可能性が考えられる。本セミナーでは脱水の身体的・精神的パフォーマンスへの影響と登山前に予め積極的に水分摂取を行うこと（プレハイドレーション（prehydration））が事故防止の一助となるかを考える。プレハイドレーションの目的は『euhydrate（体水分正常）』で、正常な血漿電解質レベルで運動を開始することである。水分の吸収を可能にし、尿の排泄を通常状態に戻すためにも少なくとも活動の数時間前に始められるべきである (American college of sports medicine position stand, 2006)』とされている。

### 略歴

1960 年山形県生まれ。筑波大学大学院体育研究科修了後、現職。専門は運動生理学。小学校時代、友人の両親が安達太良山、早池峰山などを登らせてくれたことが山の下地。その後は山から離れていたが、健康科学センターでのネパール調査に参加する傍ら、トレッキングに目覚める。ムクチナート巡礼を皮切りに、アンナプルナ方面 3 回 (ABC)、エベレスト街道 4 回 (カラパタール、ゴーキョ)、雨期のランタンまで。続けていっているので、高山病は最初のムクチナート巡礼のみ。高地順化は何年も続く？ただし、日本での登山なし。

連絡先：抄録集に掲載