暑熱環境下の運動時における塩味閾値の変化を指標とした熱中症予防のための基礎的・実践的研究

奈良教育大学　髙木祐介
（共同研究者）流通科学大学　関　和俊
鹿屋体育大学　山本正嘉
流通科学大学　北村裕美
川崎医療福祉大学　小野寺　昇

The Study on the Prevention of Heat Disorders Using the Salty Taste Sensitivity During Exercise in the Heat Environment

by

Yusuke Takagi
Nara University of Education
Kazutoshi Seki, Hiromi Kitamura
University of Marketing and Distribution Sciences
Masayoshi Yamamoto
National Institute of Fitness and Sports in Kanoya
Sho Onodera
Kawasaki University of Medical Welfare

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the availability of salty taste sensitivity during exercise for the prevention of heat disorders in the hot environment. Twelve health young males were volunteered in this study. This study was consisted of two investigations: the basic experiment（n=6）was to verify the changes of salty taste during stay at rest for 30 minutes or exercise stress for 30 minutes（exercise intensity:

50 % of predicted HRmax）in artificial weather room, and the other field investigation（n=6）was to estimate during basketball games for twice（each game: 10 minutes）under warm environment（Temperature: 26.5 ℃，Relative humidity: 72.2 %）. The salty taste sensitivity, body weight, sweat loss, urinary electrolyte, the degree of salty appetite were measured before and after the game. Salty taste sensitivity and body weight after the exercise were significantly lower than that of before in 25 ℃ , 35 ℃ and the field investigation（$p<0.05$）. There were no large changes of Na and Cl in urine in the basic experiment. However, Na and Cl in urine after the game were significantly lower than that of before in the field investigation（$p<0.05$）. It may be suggested that decrease of salty taste sensitivity and increase of salty appetite sensation were observed at the different timing of Na increasing in sweat and Na decreasing in urine derived from increase of sweat loss during exercise in hot environment. Measuring changes salty taste sensitivity would objectively assess the condition in balance of body fluid during exercise and may be original one of the suggestion for safe management and conditioning during exercise in hot environment.

要　旨

暑熱環境下の運動時における塩味の閾値変化を検討し，塩味の味覚閾値を使用した熱中症予防のための新しい指針について考案することを目的とした．対象者は，健康な若年男性 12 名とした．本研究は，室内における暑熱環境下の安静滞在時および運動時の塩味閾値の変化を検証する基礎的な実験（n=6）と実際のスポーツ現場におけるフィールド調査（n=6）を行った．室内実験では，気温 25℃・相対湿度 50% と気温 35℃・相対湿度 50% の環境下で 30 分間の座位安静および自転車駆動（予測最大心拍数の 50%）を行った．フィールド調査では 1 試合 10 分間のバスケットボールの試合を 2 回行った．測定項目は，塩味閾値，体重，発汗量，尿中電解質，主観的な塩分の欲求指数（以後，塩味欲求指数と示す）等とし，実験および調査前後の 2 回測定した．

室内実験の 25℃ 環境下の運動と 35℃ 環境下の運動およびフィールド調査では，運動後の塩味閾値および体重が運動前に比して有意に低下した（$p<0.05$）．フィールド調査の運動後の塩味欲求指数は顕著に高い値を示した．室内実験では，25℃ 環境下の運動後の尿中 Mg・Ca が運動前に比して有意に低下したものの，塩分を示す Na や Cl の大きな変化はみられなかった．一方，フィールド調査の運動後の尿中 Na，尿中 Cl および尿中 Ca は運動前に比して有意な低値を示した（$p<0.05$）．フィールド調査では，室内実験よりも運動量が多く，運動強度が高いため，発汗量は顕著に増加した．フィールド調査の運動後の尿中 Na 排泄量の低下は，発汗量の増加に伴う汗中 Na 排泄量の増加による影響が考えられた．これらから，暑熱環境下の運動時における塩味閾値の低下や塩分欲求指数の増加は，汗中や尿中に排泄される Na や Cl 等の電解質指標の変化と必ずしも同じ速さで生じるものではなく，それらが観察される以前に起こる可能性が推察された．塩味閾値の変化の測定は，運動実施者が自ら体内の体液バランスの状況を客観的に把握することが可能な指標であり，暑熱環

境下の運動時の安全管理および体調管理のため有用な示唆になる可能性は高いことが本研究によって示された.

緒　言

夏季の運動時における熱中症事故が後を絶たず，毎年問題視されている．屋外環境下の運動種目の中には，熱中症が起こった際，傷病者の救助が遅れ，致命的な事態を招く場合がある．運動現場では，指導者や大会主催者だけでなく，運動実践者も熱中症を予防するための対策や発症した際の対処法を理解しなければならない.

運動時における体温や発汗量，尿中電解質等の生理学的指標，湿球黒球温度（WBGT: Wet Bulb Globe Temperature）のような気象条件指標の変化は, 熱中症発症を予防するための手がかりになる．それらの指標変化に注目し，熱中症予防に寄与する研究がこれまでに報告されてきた[1, 2, 3]．しかしながら，これらの研究における予防法は，体重の測定や飲料水のボトル残量の計測，発汗量の算出等，実際の運動現場では手間がかかり，運動実践者が身体のコンディションを把握するためには必ずしも簡便な指標とはいえない．WBGT のような視覚的にわかりやすい指標も，運動実施者の生理学的応答の変化までは十分に評価できない．そこで我々は，自身で気づくことができ，簡便性・経済性に優れる指標として味覚変化に注目した[4]．

暑熱環境下の運動時では，発汗量および運動負荷の増加に伴い血液中のナトリウムをはじめとする電解質濃度が低下する．暑熱環境下の運動時における味覚閾値の変化を検討した研究は報告されているが[5, 6, 7]，塩味閾値の変化が暑熱ストレス依存なのか，運動ストレス依存なのか，明らかではない.

そこで本研究では，暑熱環境下の運動時における塩味の閾値変化およびその有用性を検証し，運動時の熱中症予防のための新たな指標を用いた指針の提案を目的とした．そのために，Ⅰ．暑熱環境下における安静滞在時および運動時の塩味閾値の変化の検証に関する基礎的研究，Ⅱ．実際のスポーツ現場における基礎的研究で得られた知見の有用性を検証するための実践的研究，これら 2 つの研究テーマについて研究する.

1．研究方法

1．1　室内実験：暑熱環境下における安静時および運動時の塩味閾値の変化の検証に関する基礎的研究

対象者は心疾患，腎疾患等の既往歴が無い健康な成人男性 6 名（年齢 : 26 ± 4 歳 , 体重 : 66.8 ± 10.8 kg, 身長 : 169.5 ± 9.0 cm）とした．対象者には予め調査の目的，方法及び調査に伴う苦痛，危険性について十分な説明を行い，参加に対する同意を得た．本研究は，帝塚山大学研究倫理委員会の承認を得て実施した.

実験はK大学内人工気象室で行った. 対象者は，①気温 25℃で 30 分間の座位安静（以後 , Rest 25 と記す），②気温 25℃下における 30 分間の自転車駆動（以後 , Ex. 25 と記す），③気温 35℃で 30 分間の座位安静（以後 , Rest 35 と記す），④気温 35℃下における 30 分間の自転車駆動（以後 , Ex. 35 と記す），以上 4 条件の実験に参加した．4 条件の実験の相対湿度は全て 50% に設定した．自転車駆動はエアロバイク（Aerobike 75XL Ⅲ : Combi 社製）を用いて，1 分間あたり 60 回転の速さで行った．負荷は予測最大心拍数の 50% 強度とし，負荷設定はエアロバイクにプログラミングされた内容に従って実施した．測定項目は，塩味閾値，体重，脱水率，発汗量，脈拍数，尿中電解質，口渇感，主観的な塩分の欲求指数（以後 , 塩味欲求指数と示す）とした．塩味閾値は，全口腔法を採用し，0.05% ～ 0.30% までの食塩水を 0.05％間隔で濃度が低い順に味わわせ，塩味を感

じたところまで官能評価させた．各濃度の評価の間には，水で口を濯がせた．体重は，デジタル体重計（THD-650: タニタ社製）を用いて評価した．脱水率は，運動前体重から運動後体重を減算した値を運動前体重で除した後，100 を乗算して求めた．発汗量は，中井ら[1]の法を採用し，実験前の体重に水分摂取量を足し，その値から実験後の体重を減算した．脈拍数は触診法を採用し，外頸動脈にて計測した．測定値は 15 秒間計測した脈拍数に 4 を乗じたものを採用した．尿は紙コップで採取し，そのうち 10ml を専用のスピッツ管に入れ, 尿中電解質を評価するための尿検査（Na, K, Cl: 電極法 , Ca: アルセナゾⅢ法 , Mg: 酵素法）を企業（㈱ LSI メディエンス）に委託した．尿中電解質指標として，クレアチニン（Cr），ナトリウム（Na），クロール（Cl），カルシウム（Ca），マグネシウム（Mg）を採用し，Cr によって補正された値を測定値とした．口渇感は Roll[8]の法を採用し，Visual Analog Scale にて評価した．100 mm のスケールの左端に「全く渇いていない」，右端に「とても喉が渇いている」と表記され，対象者はボールペンにて，現在の状況を線上にマークした．左端からマークされた箇所までの距離（mm）を評価指標とした．塩味欲求指数は，左端に「まったく欲しくない」，右端に「とても欲しい」が記載される長さ 100mm の Visual Analog Scale にて評価し，口渇感同様に対象者には現在の状況を線上にマークさせた．諸測定は，実験開始前および実験終了直後に行った．

1．2　フィールド調査 : 実際のスポーツ現場における塩味閾値指標の有用性を検証するための実践的研究

対象者は心疾患，腎疾患等の既往歴が無い健康な成人男性 6 名（年齢 : 20 ± 1 歳 , 体重 : 72.1 ± 10.3 kg, 身長 : 174.3 ± 7.4 cm）とした．対象者には予め調査の目的，方法及び調査に伴う苦痛，危険性について十分な説明を行い，参加に対する同意を得た．本研究は，帝塚山大学研究倫理委員会の承認を得て実施した．

調査は，2015 年 7 月に T 大学内体育館で行った．対象者は，10 分間のバスケットボールの試合を 2 試合行った．試合間には 2 分間の休息時間を設けた．対象者には，市販のスポーツドリンク（100 ml 当たり Na: 40 mg, K: 8 mg, Mg: 1.2 mg 等）を提供し，休息時間中いつでも飲めることとした．測定項目は，室内実験で採用した項目の他に，水分摂取量，水分摂取率を加えた．水分摂取量は，ボトル残量を小型の計量秤（KD-174: TANITA 社製）を使用して計測し，元の重量から減算して求めた．水分摂取率は，総水分摂取量を発汗量で除した後，100 を乗算して求めた．諸測定は，試合前および試合後に行った．当日の体育館内の WBGT は 24.8 ℃，室温は 26.5 ℃，相対湿度は 72.2 % だった．尚，WBGT はヒトの体感温度と関係の強い気温，相対湿度，輻射熱および気流を総合的に加味した環境温度のことである．

1．3　統計処理

室内実験およびフィールド調査とも，口渇感と塩味欲求指数は中央値で示し，その他の測定項目は平均値 ± 標準偏差で示した．また，実験前後および調査前後の比較は，口渇感および塩分欲求指数が Wilcoxon の符号付順位和検定，その他の測定項目は対応ありの t 検定を実施した．

2．研究結果

表 1 に室内実験での塩味閾値，体重，発汗量，脈拍数，口渇感，塩味欲求指数，**表 2** に同実験の尿量および尿中電解質，**表 3** にフィールド調査の塩味閾値，体重，発汗量，脈拍数，口渇感，塩味欲求指数，**表 4** に同調査の尿量および尿中電解質の結果を示した．

室内実験における Ex.25 と Ex.35 およびフィー

表 1　室内実験 : 気温の違いによる安静時および運動時の生理学的指標の変化

Rest25（25℃・30 分安静）

	体重（kg）	発汗量（kg）	脈拍数（拍 / 分）	塩味閾値（%）	口渇感（mm）	塩味欲求指数（mm）
安静前	66.8 ± 10.8	—	63 ± 9	0.21 ± 0.05	51	12
安静後	66.8 ± 10.8	0.03 ± 0.05	65 ± 10	0.20 ± 0.03	58	17

Ex.25（25℃・30 分運動）

	体重（kg）	発汗量（kg）	脈拍数（拍 / 分）	塩味閾値（%）	口渇感（mm）	塩味欲求指数（mm）
運動前	67.0 ± 11.0 ※	—	63 ± 8 ※	0.19 ± 0.04 ※	50 ※	5 ※
運動後	66.8 ± 11.0	0.15 ± 0.14	84 ± 6	0.17 ± 0.05	63	28

Rest35（35℃・30 分安静）

	体重（kg）	発汗量（kg）	脈拍数（拍 / 分）	塩味閾値（%）	口渇感（mm）	塩味欲求指数（mm）
安静前	67.0 ± 11.2	—	67 ± 10	0.21 ± 0.06	42 ※	12
安静後	66.8 ± 11.0	0.22 ± 0.26	69 ± 9	0.18 ± 0.03	59	37

Ex.35（35℃・30 分運動）

	体重（kg）	発汗量（kg）	脈拍数（拍 / 分）	塩味閾値（%）	口渇感（mm）	塩味欲求指数（mm）
運動前	66.9 ± 11.0 ※	—	68 ± 7 ※	0.20 ± 0.04 ※	38 ※	10 ※
運動後	66.6 ± 10.8	0.22 ± 0.21	85 ± 7	0.15 ± 0.03	62	32

体重 , 脈拍数 , 塩味閾値 : 平均値 ± 標準偏差
口渇感 , 塩味欲求指数 : 中央値
※p<0.05

表 2　室内実験 : 気温の違いによる安静時および 運動時の尿量および尿中電解質指標の変化

Rest25（25℃・30 分安静）

	尿量（ml）	Na/Cr	K/Cr	Cl/Cr	Mg/Cr	Ca/Cr
安静前	106.0 ± 70.0 ※	1.45 ± 0.79	0.43 ± 0.19	1.57 ± 0.85	0.05 ± 0.03	0.08 ± 0.05
安静後	55.6 ± 34.8	1.24 ± 0.63	0.43 ± 0.19	1.32 ± 0.60	0.04 ± 0.02	0.07 ± 0.06

Ex.25（25℃・30 分運動）

	尿量（ml）	Na/Cr	K/Cr	Cl/Cr	Mg/Cr	Ca/Cr
運動前	94.7 ± 43.6	1.49 ± 1.08	0.43 ± 0.23 ※	1.59 ± 1.03	0.04 ± 0.02 ※	0.07 ± 0.04 ※
運動後	76.2 ± 49.1	1.36 ± 1.01	0.55 ± 0.25	1.59 ± 1.14	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.03

Rest35（35℃・30 分安静）

	尿量（ml）	Na/Cr	K/Cr	Cl/Cr	Mg/Cr	Ca/Cr
安静前	153.1 ± 136.1	1.69 ± 1.09	0.60 ± 0.41	1.68 ± 1.12	0.05 ± 0.01	0.08 ± 0.05
安静後	62.3 ± 23.9	1.39 ± 0.78	0.57 ± 0.34	1.41 ± 0.79	0.04 ± 0.01	0.07 ± 0.04

Ex.35（35℃・30 分運動）

	尿量（ml）	Na/Cr	K/Cr	Cl/Cr	Mg/Cr	Ca/Cr
運動前	147.6 ± 98.4 ※	1.31 ± 1.00	0.33 ± 0.12	1.33 ± 1.03	0.05 ± 0.03	0.10 ± 0.09
運動後	76.7 ± 35.6	1.52 ± 0.88	0.40 ± 0.17	1.47 ± 0.87	0.04 ± 0.02	0.07 ± 0.05

平均値 ± 標準偏差
※ p<0.05

表 3　フィールド調査 :20 分間のバスケットボー ル試合時における生理学的指標の変化

	体重（kg）	発汗量（kg）	脈拍数（拍 / 分）	塩味閾値（%）	口渇感（mm）	塩味欲求指数（mm）
試合前	72.1 ± 10.3 ※	-	64 ± 3 ※	0.20 ± 0.03 ※	41 ※	20 ※
試合後	71.8 ± 10.0	0.84 ± 0.54	165 ± 17	0.13 ± 0.03	77	71

体重 , 発汗量 , 脈拍数 , 塩味閾値 : 平均値 ± 標準偏差
口渇感 , 塩味欲求指数 : 中央値
※p<0.05

表 4　フィールド調査 :20 分間のバスケットボール試合時における尿量および尿中電解質指標の変化

	尿量（ml）	Na/Cr	K/Cr	Cl/Cr	Mg/Cr	Ca/Cr
試合前	100.5 ± 38.1 ※	1.57 ± 0.59 ※	0.5 ± 0.2	1.74 ± 0.44 ※	0.05 ± 0.02	0.10 ± 0.05 ※
試合後	68.6 ± 19.6	1.01 ± 0.29	0.46 ± 0.18	1.26 ± 0.24	0.04 ± 0.02	0.05 ± 0.02

平均値 ± 標準偏差
※ p<0.05

ルド調査では，運動後の塩味閾値および体重が運動前に比して有意に低下した（$p<0.05$）．室内実験における脱水率は Rest 25: 0.05 ± 0.08 %，Ex. 25: 0.23 ± 0.22 %，Rest 35: 0.30 ± 0.35 %，Ex. 35: 0.30 ± 0.25 % であった．フィールド調査における水分摂取量は 510 ± 240 ml，水分摂取率は 75.4 ± 48.9 % であり，脱水率は 0.41 ± 0.58 % であった．運動強度が低い室内実験では，発汗量の顕著な増加はみられず，脱水率も大きくはなかったが，フィールド調査では発汗量は顕著に増加した．フィールド調査のバスケットボールの試合後の脈拍数は，予測最大心拍数の 80% 程度のものであった．室内実験とフィールド調査において，実験後および調査後の口渇感（室内実験 : Rest35, Ex. 25, Ex. 35）および塩分欲求指数（室内実験 : Ex. 25, Ex. 35）は運動前に比して有意な高値を示した（$p<0.05$）．塩分欲求指数の増加度は，フィールド調査の方が室内実験よりも明らかに高かった．室内実験では，Ex.25 においてのみ，運動後の尿中 K の有意な増加および尿中 Mg と尿中 Ca の有意な低下がみられたが（$p<0.05$），その他の条件では有意差は認められなかった．フィールド調査の運動後の尿中 Na，尿中 Cl および尿中 Ca は運動前に比して有意な低値を示した（$p<0.05$）．

3. 考　察

暑熱環境下における運動時の塩味閾値の変化を検証するため，室内実験およびフィールド調査を行った．その結果，室内実験では，Ex. 25 および Ex. 35 の運動後の塩味閾値がいずれも実験前の値に比して有意な低値を示した．フィールド調査では，体育館内で試合時間 10 分間のバスケットボールの試合を 2 回実施した後の塩味閾値が試合前に比して有意な低値を示した．室内実験およびフィールド調査とも，運動後の体重が運動前の値に比して有意な低値を示した．35℃ 環境下の安静条件と運動条件では，発汗量に差はなかったものの，運動中の呼吸数の増加に伴う呼気からの水分損失によって運動条件にて体重の有意な低下がみられた．発汗と体重減少がみられた運動負荷を呈する条件において，塩分に対する体内欲求が増加し，塩味閾値が低下したものと考えられた．フィールド調査での WBGT および気温は決して高い値ではなかったため，さらに気温が高い状況では本研究以上の発汗量の増加，塩味閾値の低下がみられる可能性が考えられる．室内実験における安静条件では塩味閾値，体重，塩分欲求指数とも実験前後で有意差はなかったことから，暑熱環境下の運動時における塩味閾値の低下に影響を及ぼしているのは，暑熱によるストレスより運動によるストレスの方が強いことが考えられた．

塩分に対する体内欲求の増加は，発汗と発汗に伴う尿量および尿中電解質指標変化が影響を及ぼしたものと考えられた．運動時は，運動刺激に伴うレニン－アンギオテンシン－アルドステロン系亢進によって，腎での Na や水の再吸収が増し，体液貯留が起きる[9]．そのため，運動後に排尿量および尿中 Na の排泄が低下し，尿細管での Na の再吸収と交換で分泌された尿中 K 排泄が増加する[7]．また，発汗時には汗腺において Na や Cl 等の再吸収が行われ，体液バランスを整える生理学的応答が機能する．運動によって大量の発汗が生じた際，発汗速度の増大に伴い汗腺での Na の再吸収率は低下し，皮膚表面から汗中の Na や Cl 等の排泄量が増加する[10]．これらから，本研究のフィールド調査において，試合後の尿中 Na 濃度が有意に低下したことは，運動負荷量の増加に伴う発汗量の増加による汗中 Na 排泄量増加の影響が要因として考えられた．このことが塩分に対する体内欲求を増加させ，運動後の塩味閾値を低下させたものと示唆された．一方，室内実験では，運動後の尿中 Na および Cl 等の有意な低下は認められず，25℃ 環境下の運動後においてのみ尿中 K の有意な増加，尿中 Mg および Ca の有意な

低下が認められた．35℃環境下の運動において実験前後の尿中指標に有意差がみられなかったことは，発汗量の程度が関係している可能性はあるが，主たる要因を明らかにすることはできなかった．しかしながら，実際のスポーツ現場における練習や試合のように，予測最大心拍数の 50% 以上の中等度あるいは高強度の運動強度を行っていた場合，本研究以上の発汗量の増加および塩味閾値の低下が考えられる．これらから，体内欲求によって生じた塩味閾値の低下は，汗中や尿中に排泄される Na や Cl 等の電解質指標の変化と必ずしも同じ速さで生じるものではなく，それらが観察される以前に起こる可能性が推察された．これに関連して，運動強度が高かったフィールド調査では，塩味欲求指数は試合後の値が試合前の値に比して有意な高値を示し，運動強度が低かった室内実験では塩味欲求指数の増加や口渇感の増加の程度も低かった．塩味閾値もフィールド調査での低下の程度は室内実験よりも明らかに大きかった．本研究の結果から，主観的な塩分欲求の変化は，客観的に評価された塩味閾値の変化と同様な変化を示す可能性が考えられた．塩味欲求の増加や塩味閾値の低下の始まりを把握することは，汗によって排泄される電解質濃度の増加や尿中電解質が減少される前の段階を知れる可能性が推察され，塩味閾値や主観的な塩分欲求が発汗量増加に伴う脱水や体液バランスの悪化を知らせるシグナルになり得る可能性が示唆された．

本研究によって，暑熱環境下の運動時における塩分閾値の低下は暑熱より運動によるストレスの影響を強く受けていることが考えられた．本研究における室内実験およびフィールド調査とも，運動時間が長くなかったため，脱水率は問題視される水準に至らなかったが，現場では試合に限らず練習も含め，さらに長い時間にて運動は行われ，その分運動によるストレスを呈することになる．今後，さらに現場に近づいた状況下において，採用した運動強度（予測最大心拍数の 50% 程度）以上の強度を段階的に設定し運動負荷試験を実施すること，そして，尿中の電解質濃度だけでなく汗中の電解質濃度も測定すること，以上 2 点を研究課題とする必要性がある．これらを究明することで，塩味閾値を利用した熱中症予防のための運動指導を提案できる可能性が期待される．

4. まとめ

暑熱環境下の運動時における塩味閾値の低下や塩分欲求指数の増加は，発汗量増加に伴う汗中 Na 等の電解質指標排泄量の増加および尿中 Na 等排泄量の低下よりも早い段階から生じる可能性が示唆された．その影響因子として，中等度以上の運動強度の運動によるストレスが挙げられ，暑熱ストレスが加わった場合，その生理学的応答は顕著になるものと考えられた．塩味閾値の変化の測定は，運動実施者が自ら体内の体液バランスの状況を客観的に把握することが可能な指標であり，また，測定が簡便で経済性に優れた測定指標として，暑熱環境下の運動時の安全管理および体調管理のための有用な示唆になる可能性は高いことが本研究によって明らかになった．

謝　辞

本研究に対して多大な助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます．また，実験および調査にご協力いただきました対象者の皆様，鹿屋体育大学大学院の森寿仁氏に深謝申し上げます．

文　献

1）中井誠一，芳田哲也，寄本明，岡本直輝，森本武利．運動時の発汗量と水分摂取量に及ぼす環境温度（WBGT）の影響．体力科学，**43**: 283-289（1994）
2）寄本明，中井誠一，芳田哲也，森本武利．屋外における暑熱下運動時の飲水行動と体温変動の関係．体力科学，**44**: 357-364（1995）

3）鈴木政登，清水桃子，河辺典子，町田勝彦，木村真規，塩田正俊彦．暑熱環境下における持久走運動時水分摂取の影響－糖・脂質および水・電解質代謝におよぼす糖－電解質含有溶液摂取の影響－．体力科学，47: 427-442（1998）
4）髙木祐介，関和俊，北村裕美：六甲山登山時における塩味の味覚閾値の変化に関する実践的調査．野外教育研究，18（1）：33-39（2015）
5）本岡佑子，麻見直美．暑熱下での屋外スポーツ活動が味覚閾値に及ぼす影響．日本運動生理学雑誌，17（2）：59-66（2010）
6）川野因，西村佐喜子，小清水孝子，古泉佳代，高橋律子．スポーツ選手における日常的トレーニングが味覚に及ぼす影響について．シダックスリサーチ，2: 6-11（2002）
7）Horio T., Kawamura Y. Influence of physical exercise on human preferences for various taste solutions. *Chemical Senses*, 23（4）：417-421（1998）
8）Rolls B.J., Wood R.J., Rolls E.T., Lind H., Lind W., Ledingham J.G. Thirst folling water deprivation in humans. *Am. J. Physiol.*, 239: R476-R483（1980）
9）鈴木政登．運動・スポーツにおける電解質代謝．臨床スポーツ医学，26 臨時増刊号：50-59（2009）
10）山田哲雄，村松成司，高橋徹三．運動時の汗および尿中ナトリウム，カリウム排泄量の一過性の変動に及ぼす運動強度の影響．日本栄養・食糧学会誌，46（1）：39-46（1993）