

人工炭酸泉入浴が高強度運動後の身体回復を促進する可能性

和田 匡史^{*1}・兵頭 洋樹^{*2}・地神 裕史^{*3}
土居 裕和^{*3}・山本 憲志^{*4}

Facilitation of physical recovery after artificial CO₂ hot water immersion in competitive swimmers

Tadashi Wada^{*1}, Hiroki Hyodo^{*2}, Hirofumi Jigami^{*3}
Hirokazu Doi^{*3} and Noriyuki Yamamoto^{*4}

Abstract: Bathing and sleep play important roles in physical recovery of athletes. Hot spring water containing high concentration carbon dioxide (CO₂ ≥ 1000 ppm) has long been applied to the patients suffering from cardiovascular diseases in balneotherapy. Clinical observations reported various effects of CO₂-hot spring immersion on human body, such as flushing of the skin, skin blood flow improvements, decrease of blood catecholamine levels, and heart rate reduction. The heart rate reduction by CO₂-water immersion might be induced by neuronal information generated in the skin [N. Yamamoto et al, 2007]. The purpose of this study is to examine whether artificial CO₂ hot water immersion facilitates physical recovery in competitive swimmers.

Fourteen healthy college competitive swimmers participated in this study. The participants performed anaerobic exercise. Immediately after the exercise, they immersed their whole bodies into tap-water or artificial CO₂-water at 38 degrees Celsius for 10 minutes. To measure the sleep-wake cycle, accelerometers (FS-760 and 770, ACOS, Japan) was used. The sleep-wake data were analyzed by circadian rhythm analysis software (SleepSign Act2, KISSEI COMTEC, Japan). Sleep variables analyzed included time in bed, sleep period time, total sleep time, sleep efficiency, and sleep latency. Blood lactate concentration (BLa) was measured by Lactate analyzer (Lactate Pro2LT-1730, Arkray, Japan).

BLa in recovery period was significantly lower in CO₂-water immersion than in tap-water immersion (20 min after the exercise 2.4 ± 0.8 vs 2.7 ± 0.5 mmol, *p*<0.05, 25 min after the exercise 1.9 ± 0.6 vs 2.6 ± 0.8 mmol, *p*<0.05, 30min after the exercise 1.8 ± 0.4 vs 2.4 ± 0. mmol, *p*<0.05). Sleep latency was significantly shorter in CO₂-water immersion than in tap-water immersion (7.8 ± 2.3 min vs 16.5 ± 3.8 min, *p* <0.05). Sleep efficiency was significantly higher in CO₂-water immersion than in tap-water immersion (90.3 ± 3.5% vs 83.2 ± 4.6%, *p*<0.05). Therefore, these results raise the possibility that hyperthermia, *i.e.* body core temperature raise, induced by CO₂-water immersion leads to deep sleep.

Deep sleep after the CO₂-water immersion seems to be extremely useful in the physical recovery from fatigue. The rapid decrease in BLa in the CO₂-water immersion suggests efficient physical recovery after anaerobic exercise. Therefore, it was suggested that CO₂-water immersion is effective for physical recovery.

Key words: Artificial CO₂ hot water immersion, Sleep, Exercise, Blood lactate concentration

1. はじめに

スポーツ選手は大会で高いパフォーマンスを発揮するために、身体に高い負荷を課す高強度のトレーニングを毎日行っている。毎日のトレーニング後に十分に疲労を回復することができる、より高いトレーニング効果を獲得することができるようになり、競技会での成績も良くなると考えられる。

^{*1} 国士舘大学 理工学部理工学科人間情報学系 教授 博士 (医学)

Professor, Ph.D., Department of Human Informatics, School of Science and Engineering, Kokushikan University
E-mail: twada@kokushikan.ac.jp

^{*2} 国士舘大学 理工学研究所 特別研究員

^{*3} 国士舘大学 理工学部理工学科人間情報学系 准教授

^{*4} 日本赤十字北海道看護大学 教授

日々の疲労を回復する行動として睡眠がある。睡眠は覚醒中に蓄積された心身の疲労を回復させる役割を持つ。日中のパフォーマンスを向上させるために、良質な睡眠をとること、十分な睡眠時間を確保することは、スポーツ選手だけでなく一般人にとっても重要である。スタンフォード大学男子バスケットボール部の選手10名に40日間強制的に毎晩10時間の睡眠(眠れなくてもベッドに入る)をとらせたところ、走タイムや反応時間が徐々に短縮され、フリースローやスリーポイントシュートの成功率が上昇した。全米でも屈指の強豪校と知られている大学の現役バスケットボール部員が通常の睡眠時間から数時間睡眠時間を増やしただけでパフォーマンスが向上したことは、身体の疲労回復のために睡眠の重要性が明らかになった¹⁾。アスリートにおける慢性的な睡眠不足は、スポーツ中の傷害のリスクを高めることが示されており、特に睡眠時間が6時間の選手のリスクが最も高いことが示されている²⁾。睡眠時間と運動中の疲労困憊に達するまでの時間を調べた研究では、睡眠時間の長い方が疲労困憊までの時間が長く、睡眠時間を日常から長くしていた被験者はさらに疲労困憊までの時間が伸びており、睡眠時間を長くすることで高いレベルで動き続ける能力も向上することが分かった³⁾。大学競泳選手、オリンピック競泳日本代表選手、シンクロナイズドスイミング(現アーティスティックスイミング)日本代表選手の睡眠時間の調査では、5時間前後の睡眠時間しかとることができておらず、大学選手はオフの日に、オリンピック競技会では決勝競技翌日に2倍近い睡眠時間をとっていることが我々の調査で明らかとなった。

覚醒から眠り始めるまでの時間を入眠潜時といい、この入眠過程がスムーズに行くことで良い眠りを獲得できる。この入眠過程に重要な役割を果たすのが、体温(深部体温)と脳活動である。入眠時は深部体温が下がり、手足から熱が放散されて眠りが始まる。ヒトの覚醒時は筋活動などによって熱産生が起これ、体温が上昇する。入眠時には深部体温を下げ、皮膚表面の体温が上昇して睡眠が始まり身体を休養させる。体温を下げる生理応答は手足からの熱放散によって起これ、次いで深部体温が低下する。この手足の皮膚温度と深部体温の変化がうまくいくと入眠が円滑に始まる。入眠時には体温調節が円滑に行われることが重要であり、体温低下を円滑に行うためには、低下が始まる前に体温を高めておくことよい。日本人は旧来入浴習慣があり、毎日温水に浸かり、体温を上昇させる習慣がある。入浴による身体加温は持久運動や間欠運動パフォーマンスを向上させる⁴⁾。全身入浴とシャワー入浴後の睡眠状態を調べた研究では、全身入浴の方が入眠潜時が短く、睡眠時間の延長がみられた⁵⁾。また夜間睡眠前の炭酸泉入浴は入眠時の体温低下を促進し、質の高い睡眠をとることができるとして示されている⁶⁾。人工炭酸泉入浴後の睡眠を調べ

た研究では、睡眠サイクルの1回目の脳波デルタパワー(深い睡眠)が増加し、最高値を示すこと、深部体温を有意に増加させ、その後素早く体温を低下させることが示されている⁷⁾。炭酸泉入浴の生理学的応答は、入浴後の心拍数が大気中での安静回復よりも低くなる傾向があり、浸漬部皮膚血流量が増加する、筋血流量の増加および筋硬度低下を促進する、自覚的疲労度が低いことが示されており、身体への負担が少なく、効率よく疲労回復させることが考えられる。

トレーニングでの疲労から素早く回復し、毎日のトレーニングによって蓄積された慢性的な疲労を効率よく取り除くことが重要であると考え、本研究では炭酸泉入浴が高強度トレーニング後の短期的および長期的に疲労を回復できるかどうか調べることを目的とした。

2. 方 法

表1は被験者の身体的特徴を示し、14名の大学生競泳選手が本実験に参加した。

被験者には実験を行う前に十分な説明を行い、同意を得た。高強度運動は、被験者に自転車エルゴメーター(コンビ社製PowerMaxV2)によって体重あたり7.5%の負荷で30秒間の全力ペダリングを行わせた。運動後、被験者を2群に分けて人工炭酸泉入浴および水道水入浴をクロスオーバーで実施した。図1に示すように、炭酸泉は人工炭酸泉製造装置(三菱ケミカル・クリンスイ社製SC401)によって製造した。

図2に示す人工炭酸泉製造装置は、2016年リオデジャネイロオリンピック日本代表チームでも使用されたものであり、オリンピック期間中選手の疲労回復のための入

表1 被験者の身体的特徴 (n=14, 平均値±標準偏差)

年齢(歳)	20.2 ± 1.5
身長(cm)	174.2 ± 5.8
体重(kg)	68.3 ± 3.2



図1 人工炭酸泉製造装置(左上)および循環ホース湯船の中の水を汲み上げて製造装置内で炭酸ガスを混合して炭酸水を湯船に戻す。

浴に使用された。

図3は人工炭酸泉入浴時の皮膚表面の紅潮を示している。本実験で入浴に使用した水温は炭酸泉、水道水入浴ともに38℃とし、15分間の入浴を行った。

運動後の身体回復を調べるために、入浴後、5分毎に血中乳酸濃度測定（アークレイ社製ラクテートプロ2）、主観的運動強度（RPE）、心拍数、体温の測定を実施した。図4に示した身体活動計（アコズ社製Sleep Monitor FS-760, FS-770）によって一夜の睡眠状態を測定した。



図2 人工炭酸泉製造装置
2016リオデジャネイロオリンピックモデル（SC401）

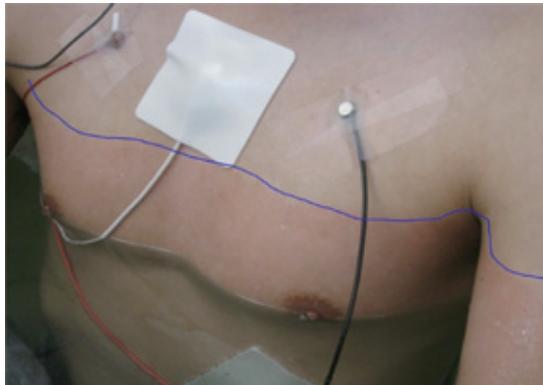


図3 人工炭酸泉入浴時の皮膚表面の紅潮



図4 睡眠状態および身体活動量を計測する活動計
（アコズ社製Sleep Monitor FS-760, FS-770）

図5は睡眠の分析に用いた睡眠解析ソフト（キッセイコムテック社製SleepSign Act2）によって身体活動計からデータを入力している状態をあらわし、入眠潜時、睡眠効率、総睡眠時間、中途覚醒時間を分析した。

炭酸泉入浴と水道水入浴の比較は、対応のあるT検定で行い、有意水準は5%未満とした。

3. 結果および考察

3.1 身体活動計による睡眠結果例

図6は全国大会入賞者の身体活動計による1週間分の睡眠-覚醒リズムを示し、図7は地区大会レベル選手の1週間分の睡眠-覚醒リズムの一例を示す。全国大会入賞者は前年度国内主要全国大会（競泳競技の日本選手権、ジャパンオープン、日本学生選手権、ジュニアオリンピック）において8位以内に1回以上入賞した選手を



図5 身体活動データ受信器および睡眠解析ソフト
（キッセイコムテック社製Sleep Sign Act2）

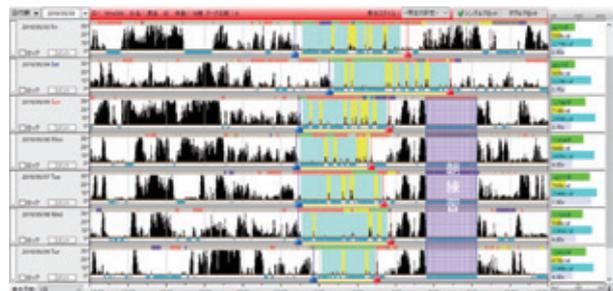


図6 全国大会入賞者の1週間の睡眠-覚醒リズム

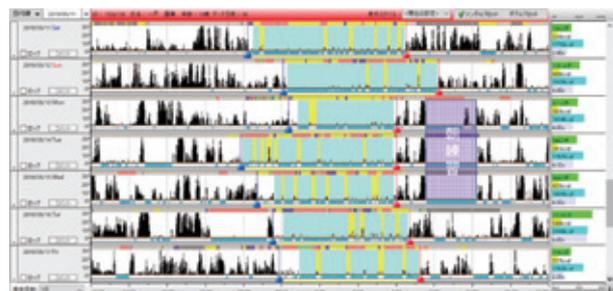


図7 地区大会レベル選手の1週間の睡眠-覚醒リズム

表し、地区大会レベル選手は、前述の主要大会に前年度一度も出場していない選手を表す。本実験では全被験者に身体活動計を装着させて睡眠状態の解析をしたが、競技力の違いによる睡眠-覚醒リズムに違いがみられた代表的な選手の1例を図6および図7にそれぞれ示した。図中の青矢印（就寝）と赤矢印（起床）の間が夜間睡眠を表し、この間の水色部分が睡眠、黄色部分が中途覚醒を表している。全国大会入賞者は、睡眠時間は短いものの就寝時間および起床時間が毎日同様の時間帯であり、毎日の生活リズムが安定していることがわかる。しかし、平均睡眠時間が短いため、オフの日にやや夜更かしをして起床が遅くなり、睡眠時間が長くなる傾向がある。一方、地方大会レベルの選手は就寝時間、起床時間が安定しておらず、睡眠時間は長いが1日の中で睡眠をとる時間帯が安定していないため、生活リズムが乱れていることが考えられる。

3.2 入浴後の入眠潜時と睡眠効率

炭酸泉入浴の先行研究では、夜間睡眠前の炭酸泉入浴は入眠時の体温低下を促進し、質の高い睡眠をとることができることが示されている⁶⁾。また人工炭酸泉入浴後の睡眠を調べた研究では、睡眠サイクルの1回目の脳波デルタパワー（深い睡眠）が増加し、最高値を示すこと、深部体温を有意に増加させ、その後素早く体温を低下させることが示されている⁷⁾。本研究では、高強度運動後に水道水入浴、人工炭酸泉入浴を行い、そのあとの睡眠を身体活動計によって測定し、夜間睡眠に関する入眠潜時と睡眠効率を較べたところ、図8に示すように入眠潜時は人工炭酸泉入浴が 7.8 ± 2.3 分、水道水入浴が 16.5 ± 3.8 分であり、有意に炭酸泉の方が短かった ($P < 0.05$)。図9は睡眠効率について示したものであり、人工炭酸泉入浴が $90.3 \pm 3.5\%$ 、水道水入浴が $83.2 \pm 4.6\%$ を示し、炭酸泉の方が有意に高値を示した ($P < 0.05$)。先行研究で示されている炭酸泉入浴の効果を本研究の睡

眠結果は支持するものであり、炭酸泉入浴が睡眠に良い影響を与えることが示された。今回の結果から炭酸泉入浴の方がより早く、より深く睡眠がとれていることが示されていることから、炭酸泉入浴は水道水入浴よりも血流がより促進され、深部体温を効率よく高めることができ、その後の入眠においてより早く体温が低下したことによると考えられた。さらに入眠潜時が短いことによってその後の睡眠効率を高めたと考えられる。運動後に炭酸泉入浴をし、睡眠をとることはより早く寝付くことができるようになり、効率よい睡眠をとれたことから、運動後の身体全体の回復を促進することが考えられた。

3.3 高強度運動後の心拍数, RPE, 血中乳酸濃度

自転車エルゴメーターによる高強度運動では、身体内の糖質がエネルギー源として主に使用されるため、血中乳酸濃度が著しく高値を示した。スポーツには様々な競技があるが、短時間高強度の運動を繰り返したり、一日の中で何回か高強度の運動を実施する種目が多く、今回の自転車エルゴメーターで実施した運動強度、運動時間は多くのスポーツ種目と同等の運動とみなすことができる。本実験における高強度運動後の血中乳酸濃度の回復は、図10に示すように15分間の入浴直後、5分後、10分後および15分後において、水道水入浴に較べて人工炭酸泉入浴の方が有意に低下していた（入浴直後 3.3 ± 0.8 vs 3.5 ± 0.6 mM, 5分後 2.4 ± 0.8 vs 2.7 ± 0.5 mM, 10分後 1.9 ± 0.6 vs 2.6 ± 0.8 mM, 15分後 1.8 ± 0.4 vs 2.4 vs 0.7 mM, $p < 0.05$)。図11の心拍数および図12のRPEの結果には両入浴間に有意差は見られなかった。人工炭酸泉入浴は水道水入浴に比べて、高強度運動後の血中乳酸濃度をより早く低下させることから、アスリートにおいては、トレーニング後や大会中において炭酸泉入浴をすることで、運動によって体内が酸性に傾いた身体をより早く中性にすることができ、より早く十分な筋活動を行うことができるようになると考えられた。

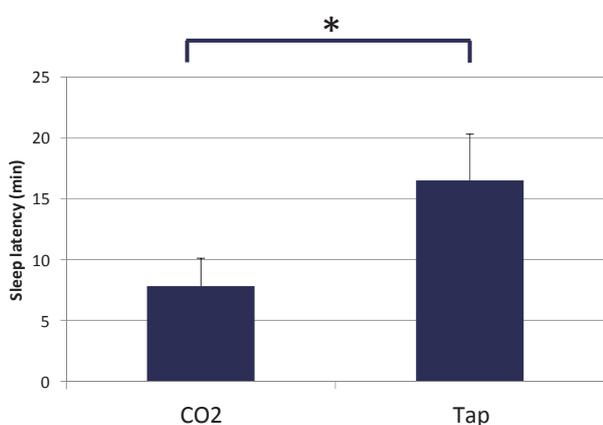


図8 人工炭酸泉入浴 (CO2) と水道水入浴 (Tap) 後の入眠潜時の比較 (* $P < 0.05$)

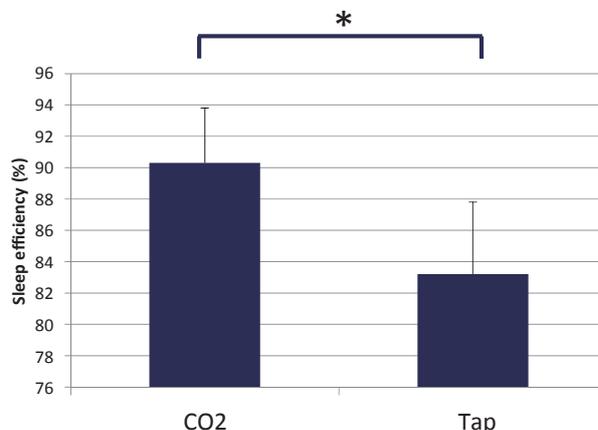


図9 人工炭酸泉入浴 (CO2) と水道水入浴 (Tap) 後の睡眠効率の比較 (* $P < 0.05$)

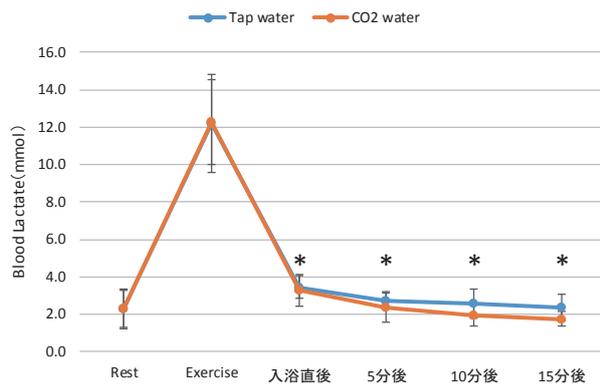


図10 人工炭酸泉入浴と水道水入浴後の血中乳酸濃度は入浴後の回復中に人工炭酸泉入浴の方が有意に低値を示した(* $P < 0.05$)。

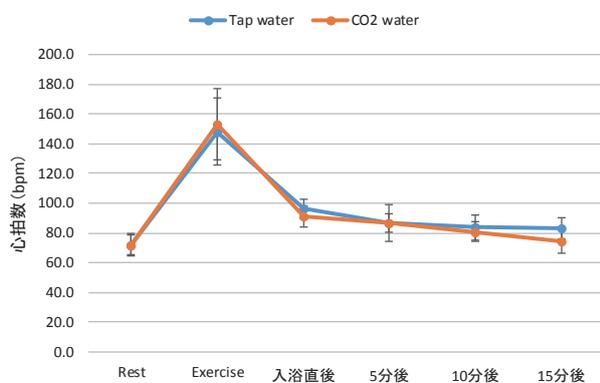


図11 安静時、運動中、運動回復期(人工炭酸泉入浴と水道水入浴)における心拍数の変化。入浴方法の違いによる差は見られなかった。

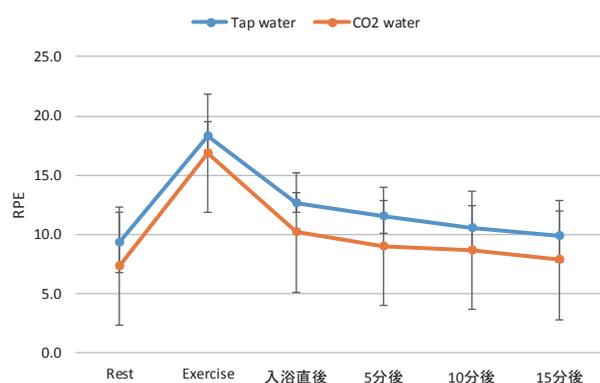


図12 安静時、運動中、運動回復期(人工炭酸泉入浴と水道水入浴)におけるRPEの変化。人工炭酸泉入浴の方が低値を示していたが有意な差は見られなかった。

4. ま と め

臨床場面において、炭酸泉入浴は、皮膚の紅潮、皮膚の血流の改善、血中のカテコールアミンのレベルや心拍数の低下など、人体に対する炭酸泉への浸漬の影響が報告されており、炭酸泉への浸漬による心拍数の低下は、皮膚で生成され、脊髄を通過して脳に伝達されるニューロ

ン情報によって引き起こされる可能性が示されている⁸⁾。入浴によって身体を温めることは、体内にHeat Shock Protein (HSP: ストレスタンパク質) の過剰発現を促進し、細胞の保護や断眠ストレスによる高体温の予防、レム睡眠のリバウンドを抑制するなどの効果があることが示されており^{9, 10)}、身体加温による影響はストレスタンパク質による身体保護作用の獲得による効果も考えられる。本研究は14名の被検者に対して人工炭酸泉入浴が血中乳酸濃度を有意に低下させる効果を示したが、6名の被検者によって調査された運動後の人工炭酸泉入浴による回復効果を示した先行研究¹¹⁾と同様の結果を示した。

高強度運動後の人工炭酸泉入浴と水道水入浴において、心拍数、RPEに有意差は見られなかったが、血中乳酸濃度は入浴後から5分、10分、15分後すべてにおいて炭酸泉入浴を実施した方が有意に低下していた。その後の睡眠における入眠潜時は、炭酸泉入浴の方がより短く、また睡眠効率は炭酸泉入浴の方が高値を示した。このことから毎日のトレーニング後や大会中に炭酸泉入浴をすることは、より早く十分な筋活動を行うことができるようになると考えられた。また睡眠においては、より早く寝付くことができ、中途覚醒の少ない睡眠をとれたことから、トレーニングによる慢性的な身体疲労の回復も促進することが考えられた。

参考文献

- 1) C.D. Mah, W.C. Dement et al: The Effects of Sleep Extension on Athletic Performance of Collegiate Basketball Players. *Sleep*, Vol. 34 (7), 2011.
- 2) M.D. Milewski, D.L. Skaggs, G.A. Bishop et al: Chronic Lack of Sleep is Associated With Increased Sports Injuries in Adolescent Athletes. *J Pediatr Orthop.*, Vol. 34 (2), 2014.
- 3) P. J. Arnal et al: Sleep Extension before Sleep loss: Effects on Performance and Neuromuscular Function. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 48 (8), 2016.
- 4) 関口泰樹, 小野太寛, 平川和文: 入浴・保温による身体加温が運動パフォーマンスに及ぼす影響 - 第一報, 第二報 -, *トレーニング科学*, Vol.29, No.1, pp. 9-22, 2017.
- 5) 和田匡史, 山本憲志, 竹ノ谷文子, 橋本眞明: 水泳選手における人工炭酸泉全身浴が睡眠に与える影響, *人工炭酸泉研究会雑誌*, 第7巻1号, pp82-83, 2018.
- 6) 西村直記: 高濃度人工炭酸泉浴による疲労回復効果-睡眠深度および心拍変動を指標として-, *日本福祉大学スポーツ科学論集*, 第1巻, pp5-10, 2018.
- 7) S.U. Ito et al: *Sleep*, Vol 36, 2013
- 8) N. Yamamoto and M. Hashimoto: Spinal cord transection inhibits HR reduction in anesthetized rats immersed in an artificial CO2-hot spring bath. *Int J Biometeorol*, Vol. 51 (3): pp. 201-208, 2007.
- 9) P. J. Shaw, G. Tononi, R. J. Greenspan, D. F. Robinson: Stress response genes protect against lethal effects of sleep deprivation in *Drosophila*, *Nature*, Vol. 417, pp. 287-291, 2002.
- 10) T. Wada, H. Sei, K. Kusumoto, K. Kitaoka, S. Chikahisa, K.

- Rokutan, Y. Morita: Geranylgeranylacetone, an inducer of HSP70, attenuates REM sleep rebound after sleep deprivation, *Brain Res. Bull.*, Vol. 69 (4), pp. 388-392, 2006.
- 11) T. Wada, Y. Shimoyama, H. Jigami, N. Yamamoto: A possibility to facilitate the physical recovery after artificial CO2 hot water immersion in competitive swimmers, *J Sci. Med. in Sport*, Vol.22 (Suppl. 2), pS112, 2019.