

Original article

Physical and mental effects of 12 weeks of hot yoga: A controlled open-label study

Yoshikazu Yonei¹⁾, Takahiko Sumi²⁾, Eri Ito²⁾, Mio Yamagata²⁾,
Doony Nishimoto²⁾, Takumi Okada²⁾

1) Anti-Aging Medical Research Center and Glycative Stress Research Center,
Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University, Kyoto, Japan

2) LAVA International, Inc. Tokyo, Japan.

Glycative Stress Research 2022; 9 (2): 73-92

(c) Society for Glycative Stress Research

(原著論文：日本語翻訳版)

ホットヨガ12週間実施による心身への影響の検証： 有対照オープンラベル試験

米井嘉一¹⁾、鷺見貴彦²⁾、伊藤江里²⁾、山形美生²⁾、西本天洋²⁾、岡田拓海²⁾

1) 同志社大学大学院生命医科学研究科
アンチエイジングリサーチセンター・糖化ストレス研究センター、京都

2) 株式会社 LAVA International、東京

抄録

健康な女性とし、運動不足を自覚した健康な女性を対象に1回60分のホットヨガプログラムを週2回、12週間施行した時の身体への影響を検証し、対照群と比較した。解析対象は対照群（19名、年齢43.6 ± 10.3歳、BMI 26.4 ± 0.8）、ホットヨガ群（34名、年齢44.1 ± 9.5歳、BMI 25.7 ± 0.4）とし、さらにホットヨガ施行者はウッドストーン床群と通常床群（各17名）の2群に分けた。12週間後の測定結果は、皮膚状態（角層水分量、シワ・キメ）の改善、問診票SF-8による心身ストレスの改善、体重・体型・柔軟性の軽度改善、HbA1cの低下、サーチュイン遺伝子 *SIRT6* の発現上昇を認めた。有害事象は特に認められなかった。通常床とウッドストーン床の比較を比較した結果、ウッドストーン床使用時の方が、SF-8身体スコアの改善度が大きく、血液検査では、RBC・Hbの低下が避けられ、総蛋白が有意に増加、CPKの上昇が軽度で、ウッドストーン床の利点と考えられた。今回は、潜在的な運動不足のある女性を対象に行った12週間ホットヨガプログラムは、多岐にわたる効果を示し、作用機序の関与する因子として *SIRT6* 発現増加を認めた。温熱療法とヨガの組合せであるホットヨガは、サーチュイン活性を高め、心身ともに健康増進効果の効率を高める安全な健康増進法であることが示唆された。

連絡先：教授 米井嘉一
同志社大学大学院生命医科学研究科アンチエイジングリサーチセンター/
糖化ストレス研究センター
〒610-0321 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3
TEL & FAX: 0774-65-6394 e-mail: yonei@mail.doshisha.ac.jp
共著者：鷺見貴彦 monitor@yoga-lava.com; 伊藤江里 e-ito@lava-intl.co.jp;
山形美生 mio.yamagata@lava-intl.co.jp; 西本天洋 doony.nishimoto@lava-intl.co.jp;
岡田拓海 takumi.okada@lava-intl.co.jp

Glycative Stress Research 2022; 9 (2): 73-92
本論文を引用する際はこちらを引用してください。
(c) Society for Glycative Stress Research

KEY WORDS: ホットヨガ、ヨガ、温熱療法、サーチュイン、熱ショック蛋白 (heat shock protein: HSP)、*SIRT1*、*SIRT6*

はじめに

ヨガは、古来よりインドに伝わる心身を鍛錬する修行である。呼吸法、ヨガのポーズとして知られる姿勢、瞑想を組み合わせて、心身の緊張をほぐし、心の安定とやすらぎを得ることが目的である。通常、ヨガは、温度・湿度を管理せず、自然な状態で行われる（常温ヨガ）。日本では、室温が28℃前後であるため、発汗量はそれほど多くない。インドの気候を考慮すると、もっと高温多湿の環境で発展した修行法であり、発汗量も多かったと予想される。

一方、ホットヨガは室温38～40℃、湿度55～65%の環境で行われる。高温多湿の環境では、同じ動作を行っても身体負荷が大きく、適切な水分補給を欠くと、脱水に陥る可能性がある。しかし、ゆっくりとした動きでも、適度な身体負荷がかかり、気持ちの良い汗をかくことができるため、運動が苦手な初心者にも適しているのが利点である。

日本では、温泉療法や岩盤浴といった温熱療法は人気がある。これらの効能として、リラックス効果、心身ストレスの軽減が知られている。身体を温めること、すなわち深部体温の上昇により、血管壁の緊張緩和、血管拡張、血流改善がみられる。また、体温上昇により誘導される遺伝子や蛋白質（熱ショック蛋白など）も報告されている。

ホットヨガは常温ヨガに温熱療法が加わった施術である。しかし、ホットヨガの身体への影響については、十分な情報が得られていない。そこで、我々は、健康な女性被験者を対象にオープン試験を行い、ホットヨガプログラムへの週2回、12週間の参加が身体に及ぼす影響について、無対象オープン試験にて検証した¹⁾。その結果、サーチュイン遺伝子 *SIRT6* (silent information regulator-6) の発現が増加すること、活性酸素種 (reactive oxygen species: ROS) が減少すること、肌状態 (角層水分量、皮膚弾力性、肌のキメ) が改善することを報告した。今回は、有対照オープン試験として、ホットヨガプログラムの肌状態、酸化ストレス、サーチュイン遺伝子発現に及ぼす影響について検証するとともに、プログラムを通常床とウッドストーン床で施行した時の違いについて比較した。

方法

対象

対象は、20歳以上～59歳未満の健康な女性とし、運動不足を自覚し、1回60分のホットヨガのレッスンを12週

間、必ず週2回以上受けることが可能な91名を募集した。応募者の中から試験総括責任医師の判断により、選択基準に合致し、除外基準に合致しない60名を選択した。選択基準を以下に示す。

- 1) 20歳以上59歳以下の日本人女性
- 2) 運動不足を自覚する者
- 3) 1回60分のホットヨガのレッスンを12週間、必ず週2回以上受けることが可能な者
- 4) 試験の目的・内容について十分な説明を受け、よく理解した上で自発的に参加を志願し、文書で試験参加に同意できる者

除外基準を以下に示す。

- 1) 現在、何らかの疾病で通院、または薬剤および漢方で治療を行っている者
- 2) 医師の管理下で食事療法、運動療法を行っている者
- 3) 重篤な疾患の現病もしくは既往のある者
- 4) 閉経前後の女性で体調の著しい変化がみられる者
- 5) アトピーなど肌にアレルギー症状を示す恐れのある者
- 6) 薬物依存、アルコール依存の現病もしくは既往のある者
- 7) 試験に影響する医薬品、健食、サプリなどを直近1ヶ月以内に飲用開始した方、試験期間中に開始する予定の者
- 8) 妊娠中、授乳中の者、およびその予定のある者
- 9) 現在、週3回以上/1時間以上の運動を行っている者
- 10) ホットヨガに定期的に通ったことがない者（体験のみの場合は除く）
- 11) ヨガスタジオ、スポーツジムなどのフィットネス関連会社に勤務している、または、同居の家族および近親者がヨガスタジオ、スポーツジムなどのフィットネス関連会社に勤務している者
- 12) 同意取得前1ヶ月以内に他の臨床試験に参加していた者または現在参加している者、または試験期間中に参加予定の者
- 13) 試験責任医師が本試験の参加にふさわしくないと判断された者

Fig. 1 に試験対象者数の推移を示す。

試験デザイン

本試験は有対照のオープンラベル試験とした。

試験に関係のない割付責任者が、偏りを防ぐために年齢と体重を考慮した上で被験者60名をまず以下の2群に振り分けた。

- ・ホットヨガを実施せず日常の生活を記録した対照群 20名
- ・ホットヨガを週に2回以上実施する群（ホットヨガ群） 40名

その後、ホットヨガ群40名を実施するスタジオの床材の違いによって以下の2群に振り分けた。

- ・ウッドストーン床でのホットヨガに参加したウッドストーンスタジオ群（WSS群）20名
- ・通常床でのホットヨガに参加した通常床群（通常床群）20名

WSS群の被験者および通常床群の被験者は週に2回以上12週間にわたり（2021年5月～8月）、指定されたホットヨガスタジオLAVAの店舗で室温が35℃前後、湿度が60%前後の室内環境でインストラクターの指導の下、60分間のホットヨガレッスンをを行った。被験者にはプログラム初日の個々の体調に応じて初級プログラムまたは基本プログラムのいずれかを選択させた。実施したプログラムを **Table 1** に示す。

試験開始前、試験開始12週間後に体構造の全体測定（体重、BMI、体脂肪率）、部位測定（ウエスト、ヒップ、バスト、二の腕、太もも、ふくらはぎの周囲径）、柔軟性測定（前屈、後屈）、皮膚測定（皮膚水分量、VISIA画像解析）、老化関連マーカー測定（SIRT1、SIRT6、hTERT、hTERC、8-OHdG、ROS）、ストレス評価（SF-8）、血圧測定、血液生化学検査、血液学的検査を施行した。被験者は生活日誌に試験期間中の有害事象の有無・程度、生活習慣について記録した。

評価項目

老化関連マーカー測定

既報の如く¹⁾、血液試料を用いてhTERT、hTERC、サーチュイン遺伝子（SIRT1及びSIRT6）の発現レベルをリアルタイムPCRで測定した。8-OHdGは血漿サンプルを高感度ELISAキット（日研ザイル、静岡）を用いて、ROSは血漿サンプルをOxiSelectTM In Vitro ROS/RNSアッセイキット（コスモ・バイオ、東京）を用いてそれぞれ測定した。測定は日本臨床試験協会（東京都新宿区）にて測定した。

皮膚測定

皮膚の性状および機能評価については、皮膚水分量測定、画像解析によるシミ・シワ測定を行った。これらの測定は、市販の洗顔料で洗顔した後、温度21±2℃、湿度50±10RH%に維持された部屋で20分間安静にして肌を馴化させてから測定を行った。

皮膚水分量は水分計コルネオメーター（Corneometer）（CM825；Courage & Khazaka、ケルン、ドイツ）を使用、測定部位は頬とした。

顔面皮膚の画像解析は、VISIA Evolution（Canfield

Imaging Systems, Fairfield, NJ, USA）を用いて、シミ（light spot）、シワ、色ムラ（キメ）、毛穴、ポルフィリンを評価した。測定部位は全顔とした。

ストレス評価

ストレス評価については、健康関連QOL尺度SF-8日本語版にて評価した。

体構造計測

体重、体脂肪率について、体組成計（BC-313；タニタ、東京都板橋区）を用いて計測した。部位測定としてウエスト、ヒップ、バスト、二の腕、太もも、ふくらはぎの周囲径について、検査員がテープメジャーを用いた接触方式にて計測した。柔軟性について、前屈および後屈を、検査員がテープメジャーを用いた接触方式（指先と床面の距離を測定）にて計測した。

血圧測定

収縮期および拡張期血圧を計測した。

血液生化学検査

血液試料を用いて以下の項目を測定した：総蛋白（TP）、アルブミン、総コレステロール、中性脂肪（triglycerides: TG）、aspartate aminotransferase（AST）、alanine aminotransferase（ALT）、alkaline phosphatase（ALP）、Leucine dehydrogenase（LDH）[IFCC]、 γ -glutamyl transpeptidase（ γ -GTP）、creatine phosphokinase（CPK）、総ビリルビン、尿素窒素、クレアチニン、ナトリウム、カリウム、クロール、カルシウム、無機リン、血糖、HbA1c [NGSP]、低比重リポ蛋白コレステロール（LDL-C）、高比重リポ蛋白コレステロール（HDL-C）、尿酸、インスリン様成長因子-I（insulin-like growth factor-I: IGF-I）。

血液学的検査

血液試料を用いて以下の項目を測定した：白血球数、赤血球数、ヘモグロビン、ヘマトクリット、血小板数、MCV、MCH、MCHC。血液生化学検査及び血液学的検査は日本臨床試験協会（東京都新宿区）にて実施した。

統計解析

統計解析には、Excel統計（(株)社会情報サービス、東京）を用い、paired-t testを施行した。各項目の摂取前との比較は対応のあるt検定、各群の摂取前と12週後の変化量の比較についてはStudentのt検定を行った。データの多重性は考慮せず、欠損値はなかった。いずれも両側検定で、危険率5%未満（ $p < 0.05$ ）を有意差ありと判定した。

解析対象

本試験は60名で試験開始したが、ホットヨガ群で6名（WSS群3名、通常床群3名）の脱落があった。いずれの

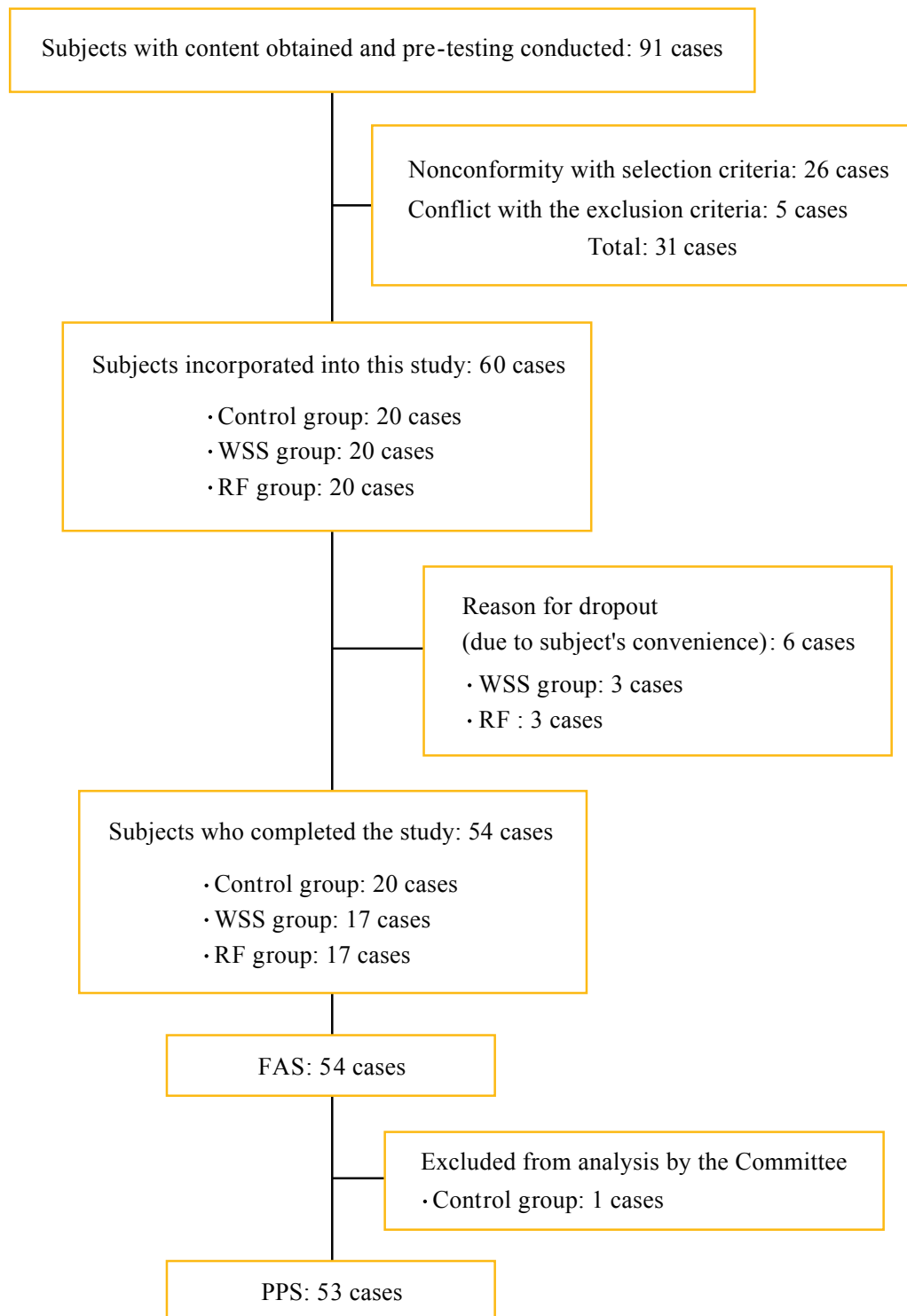


Fig.1. Number of examinees.

WSS, woodstone studio, RS, regular floor; FAS, full analysis set; PPS, per protocol set.

Table 1. Hot yoga implementation program (choice of three programs below)

YOGA BEGINNER			
	Block of Yoga sequence	Yoga Poses Names (Asanas) in Sanskrit & English	Duration
1	session preparation instructions	session preparation instructions	1.5 min
2	warm-up	warm-up -Breath -Shoulder joint -Spine	6.5 min
3	Asana-Prone	Dandayamna Bharmanasana / Balancing Table Pose sequence including a preparatory pose (hip stretch) and follow-up pose (child pose)	7.0 min
4	Asana-Sitting	Anjaneyasana / Low lunge sequence including a preparatory pose (twist pose) and follow-up pose (half split).	6.0 min
5		Phalakasana / plank pose	0.5 min
6		Bhujangasana / cobra pose	0.5 min
7		Salabhasana / Locust pose	0.5 min
8		Balāsana / Child's pose	0.8 min
9		Adho Mukha Shvanasana / Downward-facing dog	0.8 min
10	Asana-Standing	Uttanasana / Standing Forward Bend	1.0 min
11		Utthita Trikonasana / Extended triangle pose sequence including four preparatory Poses (high lunge, eagle pose, wild-legged forward bend, and Squat)	14.0 min
12	Asana-Sitting	Phalakasana / plank pose	0.8 min
13		Ardha Bhujangasana / Half cobra pose	0.8 min
14		Dhanurasana / Bow pose	0.8 min
15		Balāsana / Child's pose	0.8 min
16		Upavistha konasana / Wide-angle seated forward bend	6.0 min
17	Cool-down	Ardha Setubandhasana / half bridge pose	0.8 min
18		Eagle twist with hip stretch	3.5 min
19		Pawanmuktasana / Wind-relieving pose	0.8 min
20	Relaxation	Shavasana / Corpse Pose	5.0 min
21		Breath	1.0 min
22		session closing instructions	1.0 min
total			60.0 min

YOGA BASIC			
	Block of Yoga sequence	Yoga Poses Names (Asanas)	Duration
1	session preparation instructions	session preparation instructions	1.0 min
2	warm-up	Breath	1.0 min
3		Jathara Parivartanasana / Revolved belly pose	2.0 min
4		Pawanmuktasana / Wind-relieving pose	1.0 min
5		Kapalabhati / Skull-shining breath	2.0 min
6		Marjarasana / Cat cow pose	1.5 min
7		Parsva balasana / Thread the needle	1.5 min
8		Uttana Shishosana / Extended Puppy Pose	1.0 min
9		Balasana / Child's pose	1.0 min
10		Anjaneyasana / Low lunge	2.0 min
11		Parighasana / Gate pose	2.0 min
12		Balasana / Child's pose	1.0 min
13	Asana-Standing	Utkatasana / Chair pose	4.0 min
14		Ardha chandrasana / Half moon pose	1.5 min
15		Parivrtta utkatasana / chair twist pose	1.5 min
16		Tadasana / Mountain pose	1.0 min
17		Garudasana / Eagle pose	1.5 min
18		Parsvottanasana / Intense side stretch pose	1.5 min
19		Parivrtta Sanchalanasana / Low lunge twist pose	1.0 min
20		Virabhadrasana II / Warrior II Pose	1.0 min
21		Utthita Trikonasana / Extended triangle pose	1.0 min
22		Prasarita Padottanasana / Wide Legged Forward Bend	1.5 min
23		Natarajasana / Lord of the dance pose	2.0 min
24		Vrksanasana / Tree pose	1.5 min
25		Tadasana / Mountain pose	2.0 min
26	Asana-Prone	Phalakasana / plank pose	1.0 min
27		Bhujangasana / cobra pose	1.0 min
28		Dekasana / Airplane pose	1.0 min
29		Dhanurasana / Bow Pose	1.0 min
30		Balasana / Child's pose	1.0 min
31		Ustrasana / Camel pose	1.0 min
32		Sasangasana / Rabbit pose	1.0 min
33	Asana-Sitting	Upavistha konasana / Paschimottanasana	2.0 min
34		Krounchasana / Heron pose	1.0 min
35		Ardha Matsyendrasana / Half lord of the fishes Pose	1.0 min
36		Paschimottanasana / Seated forward bend	1.0 min
37	Cool-down	Ardha Setubandhasana / half bridge pose	1.0 min
38		Pawanmuktasana / Wind-relieving pose	1.0 min
39		Pawanmuktasana / Wind-relieving pose	2.0 min
40	Relaxation	Shavasana / Corpse Pose	5.0 min
41		session closing instructions	1.0 min
		total	60.0 min

ホットヨガの心身への影響：有対照オープン試験

PELVIC ALIGNMENT YOGA			
	Block of Yoga sequence	Yoga Poses Names in English	Duration
1	Session preparation instruction	Session preparation instruction	2.0 min
2	Neck stretching	Rotate the neck while breathing	3.0 min
3	Loosen the joints of the feet, plantar flexion and dorsiflexion	Plantar flexion and dorsiflexion of the ankle joint	5.0 min
4		Internal / external rotation of the hip joint	
5		Ankle rotation	
6	Loosen the hip joint	Pull and stretch the hip joint	8.0 min
7		Sole pose	
8		Hip joint internal rotation stretch	
9	Loosen the pelvis	Raising and lowering the ischium	8.0 min
10		Round and bend back	
11		Waist rotation	
12	Psoas major training	Psoas major muscle training	2.0 min
13		Lunge pose	
14	Back training	Raise and lower legs with prone position	3.0 min
15		Bow pose	
16		Child's pose	
17		Downward-facing dog	
18		Frog pose	
19	Core training	Cat pose	13.0 min
20		Balance pose	
21		Child's pose	
22		Downward-facing dog	
23		Swan pose	
24		Downward-facing dog	
25		Twist pose	
26	Wind Relieving pose		
27	Spine stretch	Half lotus pose	5.0 min
28		Side bending	
29		Bridge pose	
30	Hip joint stretch	Wind Relieving pose	4.0 min
31		Adductor muscle stretch	
32	Pelvic / spine stretch	Spinal rotation	2.0 min
33	Relaxation	Corpse pose	5.0 min
34		Session closing instructions	
		total	60.0 min

例も脱落理由は自己都合による参加中止であった。この解析対象集団 (FAS) 54例のうち、非介入の対照群 1名が試験開始前 (0週) の体重 62.2 kg から試験 12 週後に 54.9 kg へ大きく減少していたため (-7.3 kg)、症例検討会において当該者を解析対象から除外することが妥当との結論となり、有効性解析 (PPS解析) は以下を対象とした。

- ・ 対照群 (43.6 ± 10.3 歳) ・ ・ ・ 19 名
- ・ ホットヨガ群 (WSS 群 17 名 + 通常床群 17 名) (44.1 ± 9.5 歳) ・ ・ ・ 34 名

安全性解析は全ての被験者で、一度でも介入を受けた全被験者 60 名を安全性の解析対象とした。

倫理審査

本試験はヘルシンキ宣言 (2013 年 10 月フォルタレザ改訂) に基づく倫理的原則、および「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (2017 年一部改正)」に則り、薬事法有識者会議倫理審査委員会 (委員長: 宝賀寿男 弁護士) の承認を得たのち、被験者に同意説明文書を渡し、文書および口頭により本試験の目的と方法を十分に説明し、被験者から自由意思による同意を文書で得て実施された。本

試験は UMIN Clinical Trials Registry に登録され、実施された (UMIN #000044157)。

結果

老化関連マーカー測定 (Table 2)

12 週間のホットヨガの実施により、*SIRT6* が、対照群に比べホットヨガ群で有意に上昇した ($p < 0.001$)。 *SIRT1* については、対照群がホットヨガ群に比べ有意に上昇した ($p = 0.034$)。

hTERT、*hTERC*、8-OHdG、ROS について、対照群とホットヨガ群の間で有意な変化は認められなかった。

老化関連マーカー測定において、WSS 群と通常床群間に有意な変化は認められなかった。

皮膚測定 (Table 3)

12 週間のホットヨガの実施により、角層水分量 (+21.8 %, $p < 0.001$)、VISIA Evolution を用いたシワ (-15.8 %, $p = 0.002$)、キメ (+18.3 %, $p = 0.002$)、ポルフィリン

Table 2. Aging-related markers.

Items	Group	Comparison of before and after					Group comparison (vs. Control) Comparison of change	Group comparison (vs RF group) Comparison of change	
		n	0 w		12 w				P value
			Mean	SE	Mean	SE			
SIRT1	Control	19	2.87	± 0.21	5.23	± 0.51	0.000	0.000	0.034
	Hot yoga	34	3.16	± 0.20	4.23	± 0.26	0.002	0.002	
	WSS	17	3.12	± 0.32	4.52	± 0.41	0.016	0.016	0.187
	RF	17	3.20	± 0.24	3.94	± 0.31	0.048	0.048	
SIRT6	Control	19	1.59	± 0.24	2.32	± 0.18	0.000	0.000	0.000
	Hot yoga	34	1.48	± 0.18	4.98	± 0.31	0.000	0.000	
	WSS	17	1.50	± 0.26	4.76	± 0.47	0.000	0.000	0.496
	RF	17	1.46	± 0.23	5.20	± 0.38	0.000	0.000	
hTERT	Control	19	3.98	± 0.26	5.48	± 0.32	0.000	0.000	0.520
	Hot yoga	34	3.93	± 0.20	5.22	± 0.27	0.000	0.000	
	WSS	17	3.95	± 0.31	5.16	± 0.41	0.003	0.003	0.490
	RF	17	3.91	± 0.26	5.28	± 0.35	0.000	0.000	
hTERC	Control	19	2.76	± 0.16	3.82	± 0.22	0.003	0.003	0.978
	Hot yoga	34	3.80	± 0.24	4.87	± 0.25	0.003	0.003	
	WSS	17	3.82	± 0.38	5.08	± 0.35	0.024	0.024	0.575
	RF	17	3.78	± 0.29	4.66	± 0.34	0.076	0.076	
8-OHdG (ng/mL)	Control	19	0.16	± 0.02	0.11	± 0.01	0.051	0.051	0.237
	Hot yoga	34	0.15	± 0.01	0.12	± 0.01	0.232	0.232	
	WSS	17	0.13	± 0.01	0.12	± 0.02	0.709	0.709	0.237
	RF	17	0.16	± 0.03	0.12	± 0.02	0.232	0.232	
ROS (nM)	Control	19	78.56	± 0.96	76.74	± 1.51	0.340	0.340	0.065
	Hot yoga	34	77.73	± 1.19	70.99	± 1.03	0.001	0.001	
	WSS	17	77.54	± 1.72	70.94	± 1.36	0.019	0.019	0.139
	RF	17	77.92	± 1.63	71.05	± 1.54	0.020	0.020	

SE, standard error.

Table 3. Skin measurements.

Items	Group	Comparison of before and after					Group comparison (vs. Control)	Group comparison (vs RF group)		
		n	0 w		12 w				P value	
			Mean	SE	Mean	SE				
Skin water content	Control	19	36.54 ± 1.75		35.47 ± 1.60		0.239	0.239	0.000	
	Hot yoga	34	36.28 ± 1.45		44.18 ± 1.69		0.000	0.000		
	WSS	17	35.04 ± 1.29		45.70 ± 2.11		0.000	0.000		
	RF	17	37.51 ± 2.56		42.66 ± 2.60		0.001	0.001		
Spot	Control	19	116.29 ± 9.14		132.92 ± 9.37		0.150	0.150	0.105	
	Hot yoga	34	121.38 ± 6.08		118.41 ± 5.34		0.399	0.399		
	WSS	17	113.38 ± 6.63		115.88 ± 6.98		0.694	0.694		
	RF	17	129.38 ± 9.82		120.94 ± 8.04		0.006	0.006		
Wrinkles	Control	19	118.00 ± 5.81		132.26 ± 10.19		0.098	0.098	0.002	
	Hot yoga	34	108.60 ± 4.72		91.41 ± 4.80		0.000	0.000		
	WSS	17	102.59 ± 4.41		83.65 ± 5.86		0.001	0.001		
	RF	17	114.62 ± 8.09		99.18 ± 7.12		0.002	0.002		
Texture	Control	19	8.33 ± 1.03		7.50 ± 0.94		0.066	0.066	0.002	
	Hot yoga	34	6.48 ± 0.61		7.67 ± 0.67		0.009	0.009		
	WSS	17	6.11 ± 0.86		7.58 ± 0.93		0.076	0.076		
	RF	17	6.86 ± 0.85		7.76 ± 0.96		0.027	0.027		
Pores	Control	19	865.63 ± 72.04		900.24 ± 65.39		0.721	0.721	0.626	
	Hot yoga	34	839.63 ± 66.04		825.81 ± 57.51		0.537	0.537		
	WSS	17	809.85 ± 101.35		817.21 ± 91.88		0.828	0.828		
	RF	17	869.41 ± 84.09		834.41 ± 69.12		0.250	0.250		
Porphyrins	Control	19	1146.03 ± 113.24		1253.50 ± 125.58		0.426	0.426	0.003	
	Hot yoga	34	1329.81 ± 124.98		915.84 ± 105.02		0.000	0.000		
	WSS	17	1484.47 ± 190.75		1016.32 ± 167.94		0.020	0.020		
	RF	17	1175.15 ± 152.58		815.35 ± 121.36		0.000	0.000		

SE, standard error.

(-31.1%, p = 0.003) について、対照群に比べホットヨガ群で有意に改善した。

角層水分量について、通常床群に比べてWSS群で有意に改善した (p = 0.019)。

心身ストレス評価 (Table 4)

12週間のホットヨガの実施により、健康関連QOL尺度-SF-8の「活力」(p = 0.019)、「社会生活機能」(p = 0.045)、「日常役割機能(精神)」(p = 0.003)、「精神的健康サマリースコア」(p = 0.042)の項目について、対照群と比較してホットヨガ群で有意に改善した。

健康関連QOL尺度-SF-8の「身体的健康サマリースコア」で通常床群に比べてWSS群で有意に改善した (p = 0.030)。

体構造計測 (Table 5)

12週間のホットヨガの実施により、体重 (-1.9%, p = 0.012)、BMI (-1.7%, p = 0.021)、体脂肪率 (-3.4%, p = 0.002) について対照群に比べホットヨガ群で有意に低下した。

部位測定でもウエスト (-5.4%, p < 0.001)、ヒップ (-2.0%, p < 0.001)、バスト (-2.4%, p < 0.001)、二の腕 (-3.5%, p < 0.001)、太もも (-4.4%, p < 0.001)、ふくらはぎ (-1.7%, p = 0.046) の各周囲径が対照群に比べホットヨガ群で有意に低下した。

柔軟性について、前屈 (p < 0.001) および後屈 (p = 0.018) の指床間距離が対照群に比べホットヨガ群で有意に短縮した。

体構造測定において、WSS群と通常床群間に有意な変化は認められなかった。

Table 4. Mental and physical stress assessment.

Items	Group	Comparison of before and after					Group comparison (vs. Control)	Group comparison (vs RF group)		
		n	0 w		12 w		P value		Comparison of change	Comparison of change
			Mean	SE	Mean	SE				
Physical functioning (PF)	Control	19	51.90 ± 1.43		52.60 ± 0.67		0.564	0.564	0.353	
	Hot yoga	34	51.16 ± 0.68		53.13 ± 0.38		0.005	0.005		
	WSS	17	51.93 ± 0.92		53.94 ± 0.32		0.046	0.046	0.948	
	RF	17	50.39 ± 0.96		52.31 ± 0.64		0.059	0.059		
Role physical (RP)	Control	19	52.34 ± 1.00		52.79 ± 0.82		0.634	0.634	0.377	
	Hot yoga	34	51.47 ± 0.73		53.00 ± 0.53		0.064	0.064		
	WSS	17	52.29 ± 1.00		54.45 ± 0.40		0.085	0.085	0.445	
	RF	17	50.64 ± 1.01		51.55 ± 0.85		0.419	0.419		
Bodily pain (BP)	Control	19	52.65 ± 1.83		50.34 ± 1.89		0.197	0.197	0.101	
	Hot yoga	34	51.83 ± 0.92		53.03 ± 0.96		0.312	0.312		
	WSS	17	50.45 ± 1.48		53.86 ± 1.31		0.053	0.053	0.057	
	RF	17	53.21 ± 0.99		52.20 ± 1.38		0.521	0.521		
General health (GH)	Control	19	51.07 ± 1.29		52.41 ± 1.37		0.278	0.278	0.191	
	Hot yoga	34	51.47 ± 0.86		54.75 ± 0.60		0.000	0.000		
	WSS	17	50.95 ± 1.46		55.53 ± 0.96		0.003	0.003	0.119	
	RF	17	51.98 ± 0.90		53.98 ± 0.67		0.044	0.044		
Vitality (VT)	Control	19	51.83 ± 1.26		51.51 ± 1.54		0.690	0.690	0.019	
	Hot yoga	34	51.91 ± 0.75		54.44 ± 0.64		0.007	0.007		
	WSS	17	51.17 ± 1.12		53.72 ± 1.03		0.067	0.067	0.983	
	RF	17	52.65 ± 0.95		55.17 ± 0.74		0.055	0.055		
Social functioning (SF)	Control	19	51.84 ± 1.54		51.20 ± 1.87		0.582	0.582	0.045	
	Hot yoga	34	49.94 ± 1.24		52.68 ± 1.08		0.026	0.026		
	WSS	17	50.06 ± 1.67		53.93 ± 0.89		0.023	0.023	0.344	
	RF	17	49.82 ± 1.82		51.42 ± 1.92		0.379	0.379		
Role emotional (RE)	Control	19	51.75 ± 1.08		50.60 ± 1.33		0.235	0.235	0.003	
	Hot yoga	34	50.02 ± 0.96		52.71 ± 0.69		0.001	0.001		
	WSS	17	49.34 ± 1.36		52.35 ± 0.99		0.033	0.033	0.685	
	RF	17	50.69 ± 1.32		53.07 ± 0.96		0.011	0.011		
Mental health (MH)	Control	19	50.55 ± 1.46		50.30 ± 1.34		0.822	0.822	0.067	
	Hot yoga	34	50.45 ± 0.90		52.84 ± 0.83		0.010	0.010		
	WSS	17	50.63 ± 1.26		51.67 ± 1.20		0.438	0.438	0.124	
	RF	17	50.27 ± 1.30		54.01 ± 1.08		0.004	0.004		
Physical component summary (PCS)	Control	19	51.31 ± 1.37		51.53 ± 1.19		0.890	0.890	0.455	
	Hot yoga	34	50.81 ± 0.60		52.38 ± 0.57		0.048	0.048		
	WSS	17	50.85 ± 1.01		54.06 ± 0.78		0.007	0.007	0.030	
	RF	17	50.77 ± 0.64		50.70 ± 0.59		0.949	0.949		
Mental component summary (MCS)	Control	19	49.99 ± 1.32		49.25 ± 1.67		0.621	0.621	0.042	
	Hot yoga	34	49.10 ± 0.97		51.89 ± 0.97		0.001	0.001		
	WSS	17	48.76 ± 1.48		50.73 ± 1.37		0.159	0.159	0.298	
	RF	17	49.43 ± 1.24		53.05 ± 1.30		0.000	0.000		

SE, standard error.

Table 5. Body composition.

Items	Group	Comparison of before and after					Group comparison	Group comparison		
		n	0 w		12 w		P value		(vs. Control)	(vs RF group)
			Mean	SE	Mean	SE			Comparison of change	Comparison of change
Body weight (kg)	Control	19	66.09 ± 2.02		66.13 ± 2.03	0.929	0.929	0.012	0.463	
	Hot yoga	34	64.89 ± 1.23		63.63 ± 1.20	0.000	0.000			
	WSS	17	64.46 ± 1.50		63.43 ± 1.62	0.004	0.004	0.036		
	RF	17	65.33 ± 1.94		63.83 ± 1.77	0.015	0.015	0.029		
BMI	Control	19	26.39 ± 0.84		26.41 ± 0.89	0.917	0.917	0.021	0.280	
	Hot yoga	34	25.67 ± 0.39		25.23 ± 0.39	0.001	0.001			
	WSS	17	25.81 ± 0.50		25.50 ± 0.52	0.015	0.015	0.090		
	RF	17	25.53 ± 0.60		24.96 ± 0.57	0.013	0.013	0.027		
Body fat percentage (%)	Control	19	37.54 ± 1.13		37.60 ± 1.20	0.831	0.831	0.002	0.069	
	Hot yoga	34	36.66 ± 0.74		35.40 ± 0.80	0.000	0.000			
	WSS	17	37.24 ± 1.00		36.45 ± 1.01	0.000	0.000	0.018		
	RF	17	36.08 ± 1.08		34.34 ± 1.19	0.002	0.002	0.003		
Waist (cm)	Control	19	89.42 ± 2.22		89.83 ± 1.88	0.585	0.585	0.000	0.607	
	Hot yoga	34	89.56 ± 1.19		84.72 ± 1.14	0.000	0.000			
	WSS	17	89.35 ± 1.43		84.90 ± 1.51	0.000	0.000	0.000		
	RF	17	89.77 ± 1.90		84.55 ± 1.72	0.001	0.001	0.000		
Hips (cm)	Control	19	100.66 ± 1.57		100.88 ± 1.44	0.585	0.585	0.000	0.217	
	Hot yoga	34	99.60 ± 0.94		97.64 ± 0.94	0.000	0.000			
	WSS	17	100.09 ± 1.15		98.61 ± 1.37	0.019	0.019	0.021		
	RF	17	99.11 ± 1.47		96.66 ± 1.24	0.000	0.000	0.000		
Bust (cm)	Control	19	97.12 ± 1.78		98.56 ± 1.62	0.003	0.003	0.000	0.778	
	Hot yoga	34	95.02 ± 0.91		92.77 ± 0.80	0.000	0.000			
	WSS	17	95.10 ± 1.14		92.94 ± 1.14	0.000	0.000	0.000		
	RF	17	94.94 ± 1.42		92.60 ± 1.14	0.000	0.000	0.000		
Arms (cm)	Control	19	29.97 ± 0.94		30.65 ± 1.03	0.007	0.007	0.000	0.087	
	Hot yoga	34	29.11 ± 0.37		28.11 ± 0.36	0.000	0.000			
	WSS	17	28.95 ± 0.48		28.15 ± 0.50	0.000	0.000	0.000		
	RF	17	29.28 ± 0.56		28.06 ± 0.52	0.000	0.000	0.000		
Thigh (cm)	Control	19	51.83 ± 1.11		52.26 ± 1.07	0.165	0.165	0.000	0.260	
	Hot yoga	34	51.81 ± 0.68		49.53 ± 0.67	0.000	0.000			
	WSS	17	52.11 ± 0.96		50.15 ± 1.04	0.000	0.000	0.000		
	RF	17	51.51 ± 0.95		48.92 ± 0.80	0.000	0.000	0.000		
Calf (cm)	Control	20	37.96 ± 0.70		38.09 ± 0.76	0.372	0.372	0.046	0.827	
	Hot yoga	34	37.97 ± 0.45		37.32 ± 0.58	0.074	0.074			
	WSS	17	37.79 ± 0.61		37.22 ± 0.61	0.002	0.002	0.002		
	RF	17	38.15 ± 0.65		37.42 ± 0.98	0.311	0.311	0.245		
Forward bending (cm)	Control	19	1.50 ± 0.81		1.95 ± 0.91	0.225	0.225	0.000	0.563	
	Hot yoga	34	4.90 ± 1.05		2.30 ± 0.73	0.001	0.001			
	WSS	17	4.94 ± 1.54		2.75 ± 0.97	0.046	0.046	0.023		
	RF	17	4.85 ± 1.42		1.85 ± 1.08	0.006	0.006	0.003		
Back bending (cm)	Control	19	117.21 ± 2.24		117.05 ± 2.46	0.754	0.754	0.018	0.557	
	Hot yoga	34	121.84 ± 1.21		119.82 ± 1.34	0.001	0.001			
	WSS	17	121.74 ± 1.55		120.06 ± 1.69	0.020	0.020	0.074		
	RF	17	121.94 ± 1.85		119.58 ± 2.08	0.025	0.025	0.052		

SE, standard error.

血圧測定 (Table 6)

血圧測定については、対照群とホットヨガ群の間で有意な変化は認められなかった。

血液生化学検査 (Table 7)

12週間のホットヨガの実施により、HbA1cについて、対照群と比較してホットヨガ群で有意に低下した (-1.36% , $p < 0.001$)。カルシウムについて、対照群と比較してホットヨガ群で有意に上昇した ($+1.39\%$, $p = 0.005$)。

HbA1cについて、WSS群に比べ通常床群で有意に低下した ($p = 0.020$)。総蛋白について、通常床群に比べてWSS群で有意に上昇した ($p = 0.022$)。CKについて、WSS群に比べ通常床群で有意に上昇した ($p = 0.028$)。

血液学的検査 (Table 8)

12週間のホットヨガの実施により、血液学的検査について対照群とホットヨガ群の間で有意な変化は認められなかった。

通常床群に比べてWSS群で、赤血球数 ($p = 0.008$)、ヘモグロビン ($p = 0.018$)、ヘマトクリット ($p = 0.034$) が有意に高かった。

安全性

安全性に関して、試験期間中および終了後ともホットヨガ実施と因果関係が認められる有害事象はなかった。

Table 6. Blood pressure.

Items	Group	Comparison of before and after					Group comparison (vs. Control) Comparison of change	Group comparison (vs RF group) Comparison of change	
		n	0 w		12 w				P value
			Mean	SE	Mean	SE			
Systolic blood pressure (mmHg)	Control	19	117.11 ± 2.35		118.89 ± 2.05	0.013	0.013	0.316	
	Hot yoga	34	119.56 ± 1.82		120.41 ± 1.66	0.202	0.202		
	WSS	17	118.29 ± 2.62		118.76 ± 2.53	0.605	0.605	0.568	
	RF	17	120.82 ± 2.48		122.06 ± 2.07	0.225	0.225		
Diastolic blood pressure (mmHg)	Control	19	80.32 ± 0.89		81.11 ± 0.87	0.279	0.279	0.968	
	Hot yoga	34	79.26 ± 0.80		80.09 ± 0.59	0.076	0.076		
	WSS	17	78.53 ± 1.14		79.41 ± 0.84	0.114	0.114	0.898	
	RF	17	80.00 ± 1.09		80.76 ± 0.78	0.320	0.320		

SE, standard error.

Table 7. Blood biochemistry.

Items	Group	Comparison of before and after					Group comparison (vs. Control) Comparison of change	Group comparison (vs RF group) Comparison of change	
		n	0 w		12 w				P value
			Mean	SE	Mean	SE			
Total protein (g/dL)	Control	19	7.40 ± 0.08		7.44 ± 0.08	0.520	0.520	0.440	
	Hot yoga	34	7.36 ± 0.05		7.34 ± 0.06	0.674	0.674		
	WSS	17	7.26 ± 0.05		7.35 ± 0.08	0.156	0.156	0.022	
	RF	17	7.45 ± 0.07		7.32 ± 0.08	0.077	0.077		
Albumin (g/dL)	Control	19	4.39 ± 0.07		4.37 ± 0.08	0.736	0.736	0.985	
	Hot yoga	34	4.45 ± 0.04		4.44 ± 0.04	0.694	0.694		
	WSS	17	4.37 ± 0.06		4.42 ± 0.06	0.375	0.375	0.096	
	RF	17	4.54 ± 0.04		4.46 ± 0.06	0.149	0.149		
Total Cholesterol (mg/dL)	Control	19	225.84 ± 9.29		217.37 ± 8.94	0.125	0.125	0.751	
	Hot yoga	34	219.24 ± 7.61		212.85 ± 6.00	0.111	0.111		
	WSS	17	205.88 ± 10.09		206.65 ± 6.79	0.887	0.887	0.066	
	RF	17	232.59 ± 10.45		219.06 ± 9.65	0.021	0.021		

ホットヨガの心身への影響：有対照オープン試験

TG (mg/dL)	Control	19	122.74 ± 17.31	106.21 ± 14.31	0.068	0.068	0.993	0.793
	Hot yoga	34	111.59 ± 14.35	95.21 ± 10.31	0.223	0.223		
	WSS	17	103.53 ± 16.27	83.59 ± 10.86	0.073	0.073	0.801	
	RF	17	119.65 ± 23.48	106.82 ± 17.07	0.610	0.610	0.888	
AST (GOT) (U/L)	Control	19	17.47 ± 0.70	19.16 ± 1.32	0.056	0.056	0.316	0.477
	Hot yoga	34	19.06 ± 0.59	23.65 ± 2.79	0.103	0.103		
	WSS	17	19.00 ± 0.74	25.59 ± 5.36	0.237	0.237	0.379	
	RF	17	19.12 ± 0.91	21.71 ± 1.38	0.054	0.054	0.550	
ALT (GPT) (U/L)	Control	19	16.16 ± 2.04	18.63 ± 2.86	0.092	0.092	0.255	0.505
	Hot yoga	34	17.94 ± 0.99	26.59 ± 5.25	0.103	0.103		
	WSS	17	17.47 ± 1.21	29.65 ± 9.54	0.223	0.223	0.332	
	RF	17	18.41 ± 1.56	23.53 ± 4.27	0.217	0.217	0.538	
ALP (U/L)	Control	19	71.58 ± 3.96	69.32 ± 3.86	0.141	0.141	0.081	0.066
	Hot yoga	34	65.82 ± 2.40	67.62 ± 2.69	0.311	0.311		
	WSS	17	63.18 ± 3.20	68.18 ± 4.18	0.077	0.077	0.024	
	RF	17	68.47 ± 3.45	67.06 ± 3.38	0.506	0.506	0.740	
LDH [IFCC] (U/L)	Control	19	185.21 ± 5.29	196.37 ± 8.81	0.116	0.116	0.503	0.681
	Hot yoga	34	182.12 ± 3.99	187.91 ± 5.19	0.169	0.169		
	WSS	17	181.35 ± 4.88	188.88 ± 8.31	0.317	0.317	0.717	
	RF	17	182.88 ± 6.31	186.94 ± 6.22	0.336	0.336	0.377	
γ-GTP (U/L)	Control	19	32.63 ± 9.06	30.37 ± 9.09	0.503	0.503	0.146	0.084
	Hot yoga	34	24.00 ± 2.93	27.97 ± 3.94	0.136	0.136		
	WSS	17	20.71 ± 3.40	29.24 ± 6.41	0.088	0.088	0.070	
	RF	17	27.29 ± 4.64	26.71 ± 4.58	0.747	0.747	0.660	
CPK (U/L)	Control	19	96.47 ± 11.05	121.42 ± 34.20	0.493	0.493	0.797	0.028
	Hot yoga	34	82.32 ± 5.39	97.82 ± 8.36	0.014	0.014		
	WSS	17	76.35 ± 9.06	78.88 ± 8.69	0.673	0.673	0.542	
	RF	17	88.29 ± 5.47	116.76 ± 12.73	0.008	0.008	0.925	
Total Bilirubin (mg/dL)	Control	19	0.62 ± 0.06	0.68 ± 0.07	0.055	0.055	0.192	0.509
	Hot yoga	34	0.52 ± 0.02	0.66 ± 0.05	0.003	0.003		
	WSS	17	0.54 ± 0.04	0.65 ± 0.07	0.089	0.089	0.543	
	RF	17	0.51 ± 0.03	0.68 ± 0.07	0.015	0.015	0.164	
BUN (mg/dL)	Control	19	12.81 ± 0.67	11.88 ± 0.79	0.153	0.153	0.325	0.367
	Hot yoga	34	15.64 ± 2.73	11.79 ± 0.52	0.189	0.189		
	WSS	17	11.85 ± 0.69	10.66 ± 0.70	0.117	0.117	0.780	
	RF	17	19.43 ± 5.25	12.91 ± 0.65	0.270	0.270	0.344	
Creatinine (mg/dL)	Control	19	0.67 ± 0.02	0.67 ± 0.02	0.885	0.885	0.224	0.183
	Hot yoga	34	0.71 ± 0.02	0.73 ± 0.01	0.077	0.077		
	WSS	17	0.72 ± 0.02	0.72 ± 0.02	0.777	0.777	0.753	
	RF	17	0.70 ± 0.02	0.74 ± 0.02	0.009	0.009	0.053	
Na (mmol/L)	Control	19	140.84 ± 0.34	140.84 ± 0.50	1.000	1.000	0.423	0.300
	Hot yoga	34	141.00 ± 0.28	141.38 ± 0.28	0.222	0.222		
	WSS	17	141.12 ± 0.46	141.18 ± 0.36	0.904	0.904	0.923	
	RF	17	140.88 ± 0.31	141.59 ± 0.42	0.083	0.083	0.187	
K (mmol/L)	Control	19	4.48 ± 0.07	4.19 ± 0.05	0.001	0.001	0.762	0.399
	Hot yoga	34	4.38 ± 0.05	4.11 ± 0.03	0.000	0.000		
	WSS	17	4.32 ± 0.07	4.11 ± 0.03	0.008	0.008	0.494	
	RF	17	4.43 ± 0.07	4.12 ± 0.05	0.001	0.001	0.877	

Cl (mmol/L)	Control	19	103.74 ± 0.49	103.53 ± 0.49	0.561	0.561	0.065	0.196
	Hot yoga	34	104.06 ± 0.25	103.00 ± 0.23	0.000	0.000		
	WSS	17	104.12 ± 0.36	102.71 ± 0.33	0.001	0.001	0.019	
	RF	17	104.00 ± 0.33	103.29 ± 0.31	0.111	0.111	0.373	
Ca (mg/dL)	Control	19	9.21 ± 0.08	9.14 ± 0.10	0.172	0.172	0.005	0.898
	Hot yoga	34	9.31 ± 0.04	9.44 ± 0.04	0.007	0.007		
	WSS	17	9.34 ± 0.05	9.46 ± 0.05	0.022	0.022	0.009	
	RF	17	9.28 ± 0.06	9.42 ± 0.07	0.099	0.099	0.032	
P (mg/dL)	Control	19	3.53 ± 0.09	3.56 ± 0.11	0.765	0.765	0.769	0.724
	Hot yoga	34	3.39 ± 0.08	3.46 ± 0.08	0.393	0.393		
	WSS	17	3.31 ± 0.12	3.41 ± 0.11	0.387	0.387	0.658	
	RF	17	3.48 ± 0.11	3.52 ± 0.12	0.738	0.738	0.952	
BS (Serum) (mg/dL)	Control	19	94.11 ± 3.34	90.21 ± 3.56	0.243	0.243	0.944	0.364
	Hot yoga	34	91.21 ± 1.48	87.56 ± 0.91	0.014	0.014		
	WSS	17	89.41 ± 2.05	87.06 ± 1.29	0.199	0.199	0.678	
	RF	17	93.00 ± 2.05	88.06 ± 1.26	0.038	0.038	0.790	
HbA1c [NGSP] (%)	Control	19	5.44 ± 0.12	5.50 ± 0.12	0.030	0.030	0.000	0.020
	Hot yoga	34	5.40 ± 0.05	5.33 ± 0.04	0.005	0.005		
	WSS	17	5.35 ± 0.07	5.33 ± 0.07	0.548	0.548	0.054	
	RF	17	5.46 ± 0.07	5.33 ± 0.05	0.002	0.002	0.000	
LDL-C (mg/dL)	Control	19	131.26 ± 7.45	128.47 ± 7.38	0.538	0.538	0.817	0.195
	Hot yoga	34	128.09 ± 6.59	126.59 ± 5.88	0.652	0.652		
	WSS	17	117.94 ± 8.13	120.76 ± 6.20	0.619	0.619	0.437	
	RF	17	138.24 ± 9.77	132.41 ± 9.78	0.102	0.102	0.589	
HDL-C (mg/dL)	Control	19	67.63 ± 4.94	65.74 ± 4.23	0.264	0.264	0.224	0.507
	Hot yoga	34	66.15 ± 2.47	66.94 ± 2.49	0.583	0.583		
	WSS	17	65.82 ± 3.19	67.59 ± 3.27	0.444	0.444	0.199	
	RF	17	66.47 ± 3.78	66.29 ± 3.74	0.924	0.924	0.488	
UA (mg/dL)	Control	19	4.77 ± 0.25	4.75 ± 0.26	0.900	0.900	0.357	0.538
	Hot yoga	34	4.77 ± 0.20	4.93 ± 0.21	0.152	0.152		
	WSS	17	4.75 ± 0.33	4.98 ± 0.37	0.094	0.094	0.233	
	RF	17	4.79 ± 0.24	4.88 ± 0.20	0.616	0.616	0.644	
IGF-I (ng/mL)	Control	19	152.11 ± 9.49	150.95 ± 9.79	0.812	0.812	0.298	0.500
	Hot yoga	34	159.12 ± 6.79	150.03 ± 7.80	0.128	0.128		
	WSS	17	161.06 ± 10.08	156.00 ± 12.03	0.648	0.648	0.746	
	RF	17	157.18 ± 9.07	144.06 ± 9.71	0.009	0.009	0.076	

SE, standard error.

Table 8. Hematological tests.

Items	Group	Comparison of before and after						Group comparison (vs. Control)	Group comparison (vs RF group)
		n	0 w		12 w		P value		
			Mean	SE	Mean	SE			Comparison of change
WBC (/μL)	Control	19	7184.21 ± 360.84		6526.32 ± 379.30		0.019	0.019	0.546
	Hot yoga	34	6508.82 ± 242.91		5661.76 ± 254.58		0.000	0.000	
	WSS	17	6270.59 ± 375.34		5258.82 ± 394.96		0.000	0.000	0.354
	RF	17	6747.06 ± 297.41		6064.71 ± 290.08		0.025	0.025	
RBC (× 10 ⁴ /μL)	Control	19	464.95 ± 7.71		465.74 ± 7.39		0.853	0.853	0.546
	Hot yoga	34	446.38 ± 4.26		450.65 ± 4.91		0.277	0.277	
	WSS	17	440.82 ± 7.35		454.94 ± 7.99		0.012	0.012	0.008
	RF	17	451.94 ± 3.86		446.35 ± 5.52		0.278	0.278	
Hb (g/dL)	Control	19	12.87 ± 0.37		12.83 ± 0.39		0.729	0.729	0.647
	Hot yoga	34	13.30 ± 0.16		13.34 ± 0.18		0.767	0.767	
	WSS	17	13.10 ± 0.22		13.44 ± 0.26		0.038	0.038	0.018
	RF	17	13.49 ± 0.21		13.24 ± 0.24		0.184	0.184	
Ht (%)	Control	19	39.15 ± 0.85		40.05 ± 0.87		0.040	0.040	0.870
	Hot yoga	34	39.65 ± 0.36		40.64 ± 0.44		0.013	0.013	
	WSS	17	39.22 ± 0.49		41.01 ± 0.61		0.001	0.001	0.034
	RF	17	40.07 ± 0.52		40.26 ± 0.61		0.736	0.736	
PLT (× 10 ⁴ /μL)	Control	19	35.43 ± 1.63		50.09 ± 15.87		0.367	0.367	0.314
	Hot yoga	34	28.78 ± 0.97		27.03 ± 0.93		0.002	0.002	
	WSS	17	26.79 ± 1.13		25.19 ± 1.18		0.022	0.022	0.790
	RF	17	30.76 ± 1.43		28.88 ± 1.30		0.045	0.045	
MCV (fL)	Control	19	84.60 ± 2.17		86.36 ± 2.17		0.000	0.000	0.476
	Hot yoga	34	88.97 ± 0.97		90.36 ± 0.98		0.000	0.000	
	WSS	17	89.28 ± 1.73		90.51 ± 1.71		0.005	0.005	0.608
	RF	17	88.66 ± 0.85		90.22 ± 0.94		0.010	0.010	
MCH (pg)	Control	19	27.85 ± 0.93		27.71 ± 0.98		0.365	0.365	0.830
	Hot yoga	34	29.86 ± 0.41		29.67 ± 0.40		0.139	0.139	
	WSS	17	29.86 ± 0.71		29.67 ± 0.70		0.209	0.209	0.982
	RF	17	29.86 ± 0.39		29.66 ± 0.40		0.374	0.374	
MCHC (g/dL)	Control	19	48.62 ± 15.44		31.91 ± 0.42		0.306	0.306	0.327
	Hot yoga	34	33.54 ± 0.19		32.79 ± 0.18		0.000	0.000	
	WSS	17	33.40 ± 0.28		32.75 ± 0.31		0.001	0.001	0.523
	RF	17	33.67 ± 0.25		32.84 ± 0.17		0.002	0.002	

SE, standard error.

考察

結果概要

健康な女性とし、運動不足を自覚した健康な女性を対象に1回60分のホットヨガプログラムを週2回、12週間施行した時の身体への影響を検証し、対照群と比較した。その結果、皮膚状態（角層水分量、シワ・キメ）の改善、心身ストレスの改善、体重・体型・柔軟性の改善、HbA1cの低下、サーチュイン遺伝子（*SIRT6*）の発現の上昇を認めた。有害事象は特に認められなかった。以上より、ホットヨガの効果は多岐にわたり、作用機序の一部に*SIRT6*が関与する可能性が示された。

ヨガ、岩盤浴の身体への影響

ヨガの修練による効果は対象年齢や職場環境、疾病の有無により異なる。高齢者では、睡眠の質の改善^{2,3}、社会活動性の増加⁴といったメンタルヘルスの改善効果がみられた。

中高年者では心身ストレスの緩和⁵⁻¹²、睡眠の質の改善^{10,12-14}、抑うつ症状の改善⁸が報告されている。

若年者では、ストレスの緩和^{15,16}、抑うつ症状の改善¹⁶の報告がある。

高校生に対しては、ヨガによる心身ストレス改善効果は認められなかったが、疲労回復効果、無気力の改善¹⁷、気分の高揚、負の情動の緩和¹⁸といった心理作用が報告されている。ヨガプログラムを受けた学生の多くが有効性を感じたと報告している。

一方、小学生に対してはヨガによる心身ストレスの軽減作用はみられていない^{19,20}。もともと心身ストレス負荷が少なく、軽減される余地がなかった可能性がある。近年では、コロナ禍による外出制限もあり、ストレス負荷の多い学童とは反応が異なる可能性があり、さらなる検討が必要である。

心身ストレスに対する耐性や感受性は国民や生活環境によって大きく異なる。従って、日本人を対象とした研究とデータ蓄積は極めて重要である。

ヨガを新規に始めた74名を対象に心理調査を施行した結果、自尊感情の向上、人生への満足感の高まり、前向きに生きる意欲の向上を認め、対人不安と完全主義は減少していた²¹。

日本で人気のある岩盤浴は、ホットヨガの構成要素である温熱療法が取り入れられている。

女性13名（平均年齢47.3歳）を対象に、岩盤浴として温石を敷いた上に1回約10分間、3回横になった結果、脈波伝播速度に有意な変動はなかった²²。21～36歳の健康成人男女21例を対象として心拍変動解析を行った試験では、岩盤浴により血流量の有意な増加を認めた²³。また、岩盤浴には体温の上昇に伴い、一過性の血糖上昇を認めるが、これは飲水により緩和することが示されている²⁴。ホットヨガを含む温熱療法を施行する際には、適切な水分

補給が必要であることを示す重要な情報である。

本試験においては、ホットヨガにより様々なSF-8のストレス指標が改善している。ヨガのプログラムは初心者向けであったが、精神心理面での効果が発揮されている。

HSPの役割

ホットヨガの構成要素の一つである温熱効果の作用機序を考える上で、熱ショック蛋白質（heat shock proteins : HSPs）の役割は重要である。HSPsは細胞が障害を受けたときに体内で産生され、傷害された細胞の修復に必要な蛋白質合成に関与する他²⁵、NK細胞の活性化など免疫賦活作用もある²⁶。HSPsの一種であるHSP70は38～39°Cの温熱環境で多く誘導されることが分かっており、温浴効果が心身ストレスの緩和、疲労回復、創傷治癒の促進、免疫賦活力を発揮する重要な作用機序と推測される。

Hsp70メンバーは、細胞質ストレス誘導型 Hsp70 (Hsp72)、恒常的細胞質型 Hsc70 (Hsp73)、ER局在型 BiP (Grp78) がある²⁵。Hsp70は、ATPase 活性を有し、ATP加水分解を促進、ペプチド結合を促進させ、新規蛋白質合成を促す。同時に、変性した蛋白質に対しては、構造を修復し、異常凝集を阻止する^{27,28}。修復不能な蛋白質は、ユビキチン化を受け、プロテアソームへ運搬されて分解される。その結果、細胞内の小胞体ストレスが軽減され、アポトーシスが抑制される。

HSPsは睡眠の質に対しても好影響を及ぼす。動物試験では、睡眠・覚醒リズムの制御中枢である視床下部近傍へのHSP70投与により、GABA受容体を介して「徐波睡眠」が延長し、睡眠の質が向上する²⁹⁻³⁰。

今回の試験ではHSPに関する測定は行っていない。血液検査の成績では総蛋白、Hbといった蛋白質の増加所見が認められた。HSPの作用により細胞内異常蛋白の蓄積が減り、小胞体ストレスが減ることで細胞機能が活発化した結果、蛋白質合成が増えた可能性がある。ホットヨガによりHSPが増えるか否かについては、今後、検証すべき課題である。

SIRT1の役割

今回の試験では主に白血球に由来するサーチュインのうち*SIRT1*と*SIRT6*のmRNAを測定した。*SIRT1*は、NAD⁺依存性蛋白脱アセチル化酵素としての機能を持ち、ミトコンドリアのTCAサイクルが機能するために必須であるNAD⁺供給のために重要な役割を果たしている。細胞老化の進行³¹や酸化ストレスの亢進³²により、*SIRT1*発現は減少する。mRNA結合蛋白であるHuRは、通常*SIRT1* mRNA 3'UTRと結合して複合体を形成しているが、酸化ストレスによって*SIRT1*-HuR複合体が乖離して、*SIRT1*発現を減少させる³²。一方では、低酸素刺激³³、運動刺激³⁴によって*SIRT1*発現は増加する。

細胞エネルギーの恒常性維持に重要なAMPK (AMP-activated protein kinase) は、細胞内AMP/ATP比の変化を

感知して、その活性が変化する。運動によりAMP/ATP比が増加するとAMPKが活性化され、転写コアクチベーターPGC-1 α のリン酸化が起こる。細胞内NAD⁺/NADH比の上昇も引き起こされ、SIRT1活性が上昇する。SIRT1はリン酸化PGC-1 α を直接脱アセチル化することによりその活性を更に上昇させる³⁴⁾。AMPK活性化は運動耐久力の増加をもたらす。このように運動はSIRT1発現は増加させ、細胞機能、身体機能の恒常性維持および衰えた機能の回復に向けて好循環をもたらす。この機能を薬物で代用しようという試みは推奨できない。

今回はホットヨガにより体重・BMIの低下、体脂肪が減少したことによる体型の変化（ウエスト・バスト・ヒップや大腿・下腿周囲径の減少）が認められた。これらの効果は、ホットヨガ時に姿勢維持に伴う運動（ポーシング）に加えて、被験者の日常生活動作や身体活動におけるエネルギー産生効率の高まり、糖脂質代謝の恒常性の維持（例：インスリン抵抗性の改善）、脂肪酸 β 酸化の効率の高まりによると捉えるべきである。ホットヨガに加えて、日常生活の中で身体活動量を増やすことで、さらなる効果が期待できる。

温熱刺激については、SIRT1発現が増加するかどうかは不明であるが、熱ショック蛋白質HSP70の産生を促す。HSF1 (heat shock factor 1) はHSP70遺伝子の転写因子である。温熱刺激を受けると、SIRT1がHSF-1に結合して転写活性が上昇し、HSP70の産生量が高まる³⁵⁾。

今回の試験では、対照群に比べてSIRT1発現の有意な増加は認められなかったが、ホットヨガの温熱刺激が、SIRT1/HSF-1複合体形成を介した転写活性の増大にともなってHSP70の産生誘導が促進した可能性が考えられる。

現代社会は多くの人々が潜在的な運動不足と脂肪摂取過多に直面している。このような状況ではSIRT1発現を健全に保つこと極めて重要である。肝臓ではSIRT1は、PPAR α シグナルの低下を予防し、脂肪酸 β 酸化の低下を防ぎ、脂肪肝・脂肪肝の予防につながる³⁶⁾。脂肪組織ではSIRT1は、炎症性アディポサイトカインの産生亢進を防ぎ、炎症反応を抑制し、脂肪肝の予防につながる³⁷⁾。

SIRT6の役割

SIRT6は、NAD⁺/依存性ヒストン脱アセチル化酵素 (histone deacetylase : HDAC) 活性を有する。SIRT1に比べて脱アセチル化酵素活性が弱く、脱ミリスチル化活性が強い特徴があるため、リジン脱アシル化酵素として捉えるべきとされている³⁸⁾。

SIRT6ノックアウトマウスは短命で白血球の減少、骨密度の低下がみられ、SIRT6欠損細胞はDNA損傷感受性が高い³⁹⁾。SIRT6トランスジェニックマウスの雄は、寿命が長くなり、血清IGF-Iの低下とIGFBP1濃度の増加が見られた⁴⁰⁾。

SIRT6の作用として、テロメアの安定化⁴¹⁾、NF- κ Bの転写活性の制御⁴²⁾、DNA修復能の維持³⁹⁾が想定されて

いる。SIRT6欠損細胞はDNA損傷感受性が高い。

ヒトにおけるSIRT6の動態に関する報告は少ない。

生殖医療の領域では、卵巣機能の低下が原因で妊孕性低下をきたしている女性は、他の原因の者に比べて、SIRT6発現に差がなく、SIRT1発現が低レベルであった⁴³⁾。妊娠希望者に対し周期的断食を施行した成績では、SIRT1発現が上昇したが、SIRT6には影響がなかった⁴⁴⁾。

ビタミンD強化ヨーグルト飲料を12週間毎日摂取すると、2型糖尿病被験者のSIRT1およびSIRT6の血中濃度が上昇し、ビタミンD+Ca強化ヨーグルト飲料ではSIRT6の上昇がより促進された⁴⁵⁾。

そして今回の試験では、ホットヨガの施行によりSIRT6の上昇が確認された。既報¹⁾と同様の結果なので、再現性が高い所見として位置づけられる。

SIRT6はGH/IGF-I系にも影響を及ぼす。SIRT6ノックアウトマウスは低血糖となるために生後早い時期に多くが死亡する。SIRT6ノックアウトマウスは、成長の遅延、小型化、低インスリン、リンパ球の減少、皮下脂肪の減少、骨密度の低下、脊柱後弯症など老化とみられる表現型を示す³⁸⁾。GH/IGF-1レベルは低下しており、個体の小型化の要因になっている。

SIRT6過剰発現マウスは、野生型マウスに比べ、雌ではなく雄が有意に長寿であり、野生型マウスの雄に比べて、IGF-Iレベルが低いことが報告されている⁴⁶⁾。飼育された野生型マウスでは、ストレスと運動不足により肥満傾向、インスリン抵抗性が亢進した結果、IGF-Iが代償性に増加するが、SIRT6過剰発現マウスではこの代償性増加が回復したと解釈できる。SIRT6過剰発現マウスは、IGF結合蛋白質1 (IGFBP-1) レベルも高く、高脂肪食負荷に対してSIRT6が保護的に働くと考えられている³⁹⁾。

今回の3群間におけるインスリン抵抗性を推測すると、通常床群の平均ウエスト径が最も大きく、インスリン抵抗性が高い可能性がある。そのために通常床群で、代償性上昇した血清IGF-Iがホットヨガにより有意に低下したと解釈している。

皮膚機能の改善作用

ホットヨガによる皮膚機能の改善作用については、いくつかの要素の総合作用の結果と考えられる。作用機序として、酸化ストレスの軽減、HSPsの関与、SIRT遺伝子の発現の関与が挙げられる。

皮膚老化において光老化が占める部分が多く、紫外線暴露による酸化ストレスが関与する。今回の試験では、ホットヨガによるROSの有意な減少（対照群との群間比較では $p = 0.065$ ）が認められた。シワの形成には紫外線暴露と酸化ストレスの関与が大きい⁴⁷⁾。ホットヨガにより酸化ストレスに多対する耐性が向上し、ROS産生が減少し、結果としてシワ抑制につながった可能性が考えられる。

温熱刺激については、SIRT1発現が増加するかどうかは不明である。しかし、温熱刺激によりSIRT1はHSP70

の産生を促す。HSF1 (heat shock factor 1) は *HSP70* 遺伝子の転写因子である。温熱刺激を受けると、*SIRT1* が *HSF-1* に結合して転写活性が上昇し、*HSP70* の産生量が高まる⁴⁸⁾。

今回の試験では、対照群に比べて *SIRT1* 発現の有意な増加は認められなかったが、ホットヨガの温熱刺激が、*SIRT1* を介して、*HSP70* の産生誘導を促した可能性は十分考えられる。

HSP70 は皮膚機能に影響を及ぼす。皮膚の角化細胞内の *HSP70* が増加すると、紫外線暴露による細胞傷害 (細胞死、炎症反応、DNA 傷害) が軽減すること⁴⁹⁾、色素細胞内の *HSP70* 増加はメラニン産生が抑制され、シミ形成が抑制される⁵⁰⁾。さらに、温熱療法により *HSP70* が上昇し、シワ形成が抑制されることが示されている。高齢者では細胞における *HSP70* 誘導能が低下することから⁵¹⁾、高齢者ではホットヨガなどの温熱療法を積極的に取り入れた方がよいと思われる。

バイポーラフラクショナル高周波 (bipolar fractional radiofrequency: FRF) 療法は皮膚科領域で瘡瘍痕や尋常性瘡瘡、シワ除去の治療目的で使用される治療法である。FRF で処理した皮膚局所では、*SIRT6* 発現が増加、アポトーシス遺伝子である *FoxO3* と *p53* の発現レベルは低下したとの報告がある⁵²⁾。*SIRT6* 活性が肌質改善に関与している可能性がある。

今回の試験では、ホットヨガにより角層水分量、シワ ($p = 0.002$)、キメなどが有意に改善していた。角層水分量とキメについては前回試験¹⁾ にも改善を示しており、ホットヨガの皮膚への効果は再現性がある。酸化ストレスの緩和、*HSP70* の誘導、*SIRT6* 発現の増加が相乗的に作用した結果としてこれらの作用が表れたものと考えている。

通常床群とWSS群の比較

通常床群とWSS群の比較を比較した結果、WSS群の方が、SF-8にてQOLに関する身体の自覚症状を総合的に評価する指標である身体的健康サマリースコア (PCS) が有意に改善しており、血液検査では、RBC・Hb・Hctの低下が避けられ、総蛋白が有意に増加、CPKの上昇が少なかった。これらはウッドストーン床の利点である。通常床に利点があった項目は、血液検査のHbA1cのみで、通常床では有意に低下したが (-2.4%)、WSS群で変化なし (-0.3%) であった。以上を考慮すると、ホットヨガでは、ウッドストーン床を使用した方がより利点は多いと推測される。

安全性

適正な管理・指導のもとに施行されたホットヨガに起因する有害事象は認められなかった。本療法の安全性が確認された。

結論

老化、運動不足、脂肪摂取過剰により、細胞や組織の様々な機能が低下するが、HSP、サーチュインの低下も例にもれない。その結果、細胞の恒常性維持機構が衰え、ミトコンドリア機能の低下、老化蛋白の蓄積、小胞体ストレスの亢進が惹起される。今回は、潜在的な運動不足のある女性を対象に12週間ホットヨガプログラムを施行し、対照群と比較した結果、心身ストレスの改善、体重減少、体型の改善、皮膚状態 (シワ、キメ、保湿) の改善し、サーチュイン *SIRT6* の上昇が確認された。通常床とウッドストーン床の比較では、後者の方が利点は多いと推測された。適度な温熱療法とヨガの身体活動の組合せであるホットヨガは、サーチュイン活性を高め、互いに相乗的に作用し、心身ともに健康増進効果の効率を高める安全な健康増進法であることが示唆された。

利益相反申告

本研究を遂行するにあたりLAVA International社より支援を受けた。

参考文献

- 1) Ishikawa T, Ito E, Okada T, et al. Hot yoga increases SIRT6 gene expression, inhibits ROS generation, and improves skin condition. *Glycative Stress Res.* 2021; 8: 123-135.
- 2) Manjunath NK, Telles S. Influence of Yoga and Ayurveda on self-rated sleep in a geriatric population. *Indian J Med Res.* 2005; 121: 683-690.
- 3) Chen KM, Chen MH, Chao HC, et al. Sleep quality, depression state, and health status of older adults after silver yoga exercises: cluster randomized trial. *Int J Nurs Stud.* 2009; 46: 154-163.
- 4) Oken BS, Zajdel D, Kishiyama S, et al. Randomized, controlled, six-month trial of yoga in healthy seniors: Effects on cognition and quality of life. *Altern Ther Health Med.* 2006; 12: 40-47.
- 5) Granath J, Ingvarsson S, von Thiele U, et al. Stress management: A randomized study of cognitive behavioural therapy and yoga. *Cogn Behav Ther.* 2006; 35: 3-10.
- 6) Smith C, Hancock H, Blake-Mortimer J, et al. A randomised comparative trial of yoga and relaxation to reduce stress and anxiety. *Complement Ther Med.* 2007; 15: 77-83.
- 7) Banerjee B, Vadiraj HS, Ram A, et al. Effects of an integrated yoga program in modulating psychological stress and radiation-induced genotoxic stress in breast cancer patients undergoing radiotherapy. *Integr Cancer Ther.* 2007; 6: 242-250.
- 8) Manocha R, Black D, Sarris J, et al. A randomized, controlled trial of meditation for work stress, anxiety and depressed mood in full-time workers. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2011; 2011: 960583.
- 9) Hartfiel N, Havenhand J, Khalsa SB, et al. The effectiveness of yoga for the improvement of well-being and resilience to stress in the workplace. *Scand J Work Environ Health.* 2011; 37: 70-76.
- 10) Wolever RQ, Bobinet KJ, McCabe K, et al. Effective and viable mind-body stress reduction in the workplace: a randomized controlled trial. *J Occup Health Psychol.* 2012; 17: 246-258.
- 11) Michalsen A, Jaitler M, Brunnhuber S, et al. Iyengar yoga for distressed women: A 3-armed randomized controlled trial. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2012; 2012: 408727.
- 12) Stoller CC, Greuel JH, Cimini LS, et al. Effects of sensory-enhanced yoga on symptoms of combat stress in deployed military personnel. *Am J Occup Ther.* 2012; 66: 59-68.
- 13) Afonso RF, Hachul H, Kozasa EH, et al. Yoga decreases insomnia in postmenopausal women: A randomized clinical trial. *Menopause.* 2012; 19: 186-193.
- 14) Köhn M, Persson Lundholm U, Bryngelsson IL, et al. Medical yoga for patients with stress-related symptoms and diagnoses in primary health care: A randomized controlled trial. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2013; 2013: 215348.
- 15) Telles S, Singh N, Joshi M, et al. Post traumatic stress symptoms and heart rate variability in Bihar flood survivors following yoga: A randomized controlled study. *BMC Psychiatry.* 2010; 10: 18.
- 16) Smith JA, Greer T, Sheets T, et al. Is there more to yoga than exercise? *Altern Ther Health Med.* 2011; 17: 22-29.
- 17) Khalsa SB, Hickey-Schultz L, Cohen D, et al. Evaluation of the mental health benefits of yoga in a secondary school: A preliminary randomized controlled trial. *J Behav Health Serv Res.* 2012; 39: 80-90.
- 18) Noggle JJ, Steiner NJ, Minami T, et al. Benefits of yoga for psychosocial well-being in a US high school curriculum: A preliminary randomized controlled trial. *J Dev Behav Pediatr.* 2012; 33: 193-201.
- 19) White LS. Reducing stress in school-age girls through mindful yoga. *J Pediatr Health Care.* 2012; 26: 45-56.
- 20) Hagins M, Haden SC, Daly LA. A randomized controlled trial on the effects of yoga on stress reactivity in 6th grade students. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2013; 2013: 607134.
- 21) 古宮 昇, 谷口弘一. ヨガの心理的効果についての調査研究. *カウンセリング研究.* 2011; 44: 110-117.
- 22) 森岡郁晴, 和泉有里奈, 井上 雅, 他. 壮年期健康常女性における岩盤浴と温泉浴が脈波伝播速度に及ぼす影響. *日本衛生学雑誌.* 2014; 69: 146-152.
- 23) 大波英幸, 大河内正一, 大網貴夫, 他. 岩盤浴における温熱効果の評価. *温泉科学.* 2008; 58: 14-24.
- 24) 長坂 猛, 矢野智子, 榎村由香子. 岩盤浴による体温調節反応および血糖値の変化. *保健の科学.* 2011; 53: 713-717.
- 25) 柚木達也, 刈谷文子, 近藤 隆, 他. 正常ヒト線維芽細胞における温熱ストレスに応答するヒートショックタンパク質Aファミリー分子の遺伝子発現解析. *日本ハイパーサーミア学会誌.* 2012; 28: 73-85.
- 26) Elsner L, Muppala V, Gehrman M, et al. The heat shock protein HSP70 promotes mouse NK cell activity against tumors that express inducible NKG2D ligands. *J Immunol.* 2007; 179: 5523-5533
- 27) Raynes DA, Guerriero V Jr. Inhibition of Hsp70 ATPase activity and protein renaturation by a novel Hsp70-binding protein. *J Biol Chem.* 1998 Dec 4; 273: 32883-32888.
- 28) Kelley WL. The J-domain family and the recruitment of chaperone power. *Trends Biochem Sci.* 1998; 23: 222-227.
- 29) Ekimova IV. Somnogenic effect of exogenous heat shock protein 70 kDa is mediated by GABA(A) receptors in the preoptic area of the hypothalamus. *Dokl Biol Sci.* 2013; 449: 89-92.
- 30) Pastukhov IuF, Simonova VV, Guzeev MA, et al. Chaperone Hsp70 is involved in the molecular mechanisms of slow wave sleep regulation. *Dokl Biochem Biophys.* 2015; 461: 76-79.
- 31) Sasaki T, Maier B, Bartke A, et al. Progressive loss of SIRT1 with cell cycle withdrawal. *Aging Cell.* 2006; 5: 413-422.
- 32) Abdelmohsen K, Pullmann R Jr, Lal A, et al. Phosphorylation of HuR by Chk2 regulates SIRT1 expression. *Mol Cell.* 2007; 25: 485-487.
- 33) Dioum EM, Chen R, Alexander MS, et al. Regulation of hypoxia-inducible factor 2alpha signaling by the stress-responsive deacetylase sirtuin 1. *Science.* 2009; 324: 1289-1293
- 34) Cantó C, Gerhart-Hines Z, Feige JN, et al. AMPK regulates energy expenditure by modulating NAD+ metabolism and SIRT1 activity. *Nature.* 2009; 458: 1056-1060
- 35) Westerheide SD, Anckar J, Stevens SM Jr, et al. Stress-inducible regulation of heat shock factor 1 by the deacetylase SIRT1. *Science.* 2009; 323: 1063-1066.

- 36) Purushotham A, Schug TT, Xu Q, et al. Hepatocyte-specific deletion of SIRT1 alters fatty acid metabolism and results in hepatic steatosis and inflammation. *Cell Metab.* 2009; 9: 327-338.
- 37) Chalkiadaki A, Guarente L. High-fat diet triggers inflammation-induced cleavage of SIRT1 in adipose tissue to promote metabolic dysfunction. *Cell Metab.* 2012; 16: 180-188.
- 38) Foley JF. A role for SIRT6 in secretion. *Science Signaling.* 2013; 6: ec81.
- 39) Mostoslavsky R, Chua KF, Lombard DB, et al. Genomic instability and aging-like phenotype in the absence of mammalian SIRT6. *Cell.* 2006; 124: 315-329.
- 40) Kanfi Y, Naiman S, Amir G, et al. The sirtuin SIRT6 regulates lifespan in male mice. *Nature.* 2012; 83(7388): 218-221.
- 41) Michishita E, McCord RA, Berber E, et al. SIRT6 is a histone H3 lysine 9 deacetylase that modulates telomeric chromatin. *Nature.* 2008; 452: 492-496.
- 42) Kawahara TL, Michishita E, Adler AS, et al. SIRT6 links histone H3 lysine 9 deacetylation to NF-kappaB-dependent gene expression and organismal life span. *Cell.* 2009; 136: 62-74.
- 43) González-Fernández R, Martín-Ramírez R, Rotoli D, et al. Granulosa-lutein cell Sirtuin gene expression profiles differ between normal donors and infertile women. *Int J Mol Sci.* 2019; 21: 295.
- 44) Lilja S, Stoll C, Krammer U, et al. Five days periodic fasting elevates levels of longevity related christensenella and Sirtuin expression in humans. *Int J Mol Sci.* 2021; 22: 2331.
- 45) Nikooyeh B, Hollis BW, Neyestani TR. The effect of daily intake of vitamin D-fortified yogurt drink, with and without added calcium, on serum adiponectin and sirtuins 1 and 6 in adult subjects with type 2 diabetes. *Nutr Diabetes.* 2021; 11: 26.
- 46) Kanfi Y, Naiman S, Amir G, et al. The sirtuin SIRT6 regulates lifespan in male mice. *Nature.* 2012; 83(7388): 218-221.
- 47) Ichihashi M, Yagi M, Nomoto K, et al. Glycation stress and photo-aging in skin. *Anti-Aging Med.* 2011; 8: 23-29.
- 48) Westerheide SD, Anckar J, Stevens SM Jr, et al. Stress-inducible regulation of heat shock factor 1 by the deacetylase SIRT1. *Science.* 2009; 323: 1063-1066.
- 49) Matsuda M, Hoshino T, Yamashita Y, et al. Prevention of UVB radiation-induced epidermal damage by expression of heat shock protein 70. *J Biol Chem.* 2010; 285: 5848-5858.
- 50) Hoshino T, Matsuda M, Yamashita Y, et al. Suppression of melanin production by expression of HSP70. *J Biol Chem.* 2010; 285: 13254-13263.
- 51) Gutschmann-Conrad A, Heydari AR, You S, et al. The expression of heat shock protein 70 decreases with cellular senescence *in vitro* and in cells derived from young and old human subjects. *Exp Cell Res.* 1998; 241: 404-413.
- 52) Rangarajan S, Trivedi A, Ubeid AA, et al. Minimally invasive bipolar fractional radiofrequency treatment upregulates anti-senescence pathways. *Lasers Surg Med.* 2013; 45: 201-206.