体力研究 BULLETIN OF THE PHYSICAL FITNESS RESEARCH INSTITUTE
No.113 pp.19～26 Apr., 2015

〔資　料〕

一過性のストレッチ運動が認知機能，脳の酸素化動態，および感情に及ぼす影響

須藤みず紀[1)]　安藤創一[2)]　永松俊哉[1)]

The effects of acute stretch exercise on cognitive function, cerebral oxygen dynamics, and affective state

Mizuki Sudo, Soichi Ando, and Toshiya Nagamatsu

緒　言

現在，運動と認知機能の関係は社会的に大きな注目を集めており，一過性の運動が認知機能を向上させるというエビデンスは増加の一途をたどっている[8-10,21,23)]。認知機能とは，主に注意，記憶，判断などの知的機能であり，日常生活を営むうえで重要な役割を果たす。特に注意や行動を適切に制御する機能を担う実行機能は，高次機能として脳の前頭前野において処理される。実行機能の評価における課題として，GO-NO/GO 課題[1,19)]や Stroop 課題[9,18,27)]などがあげられる。また，認知機能の評価法のなかに，視覚的な情報処理過程に焦点をあてた視覚探索課題がある[13,31,34)]。視覚探索とは，視野内の複数の対象（妨害刺激）のなかから特定の特徴をもつもの（目標刺激）を選択的に抽出する働きである。これまでに，視覚探索課題で用いられるような視覚的な情報処理は感情状態によって影響を受けることが報告されている[13,24)]。肯定的な気分では視野の広い範囲での視覚情報処理が優位となる一方で，否定的な気分においては狭い範囲に焦点をあてた視覚情報処理が優位になることが指摘されている[14,15,25)]。これらの知見は，視覚探索課題のパフォーマンスが感情の変化の影響を受けることを示唆している。

近年，Byun et al. は，一過性の中強度運動により，左側前頭前野の神経活動が向上し，かつ，実行機能を評価する認知機能のパフォーマンスが改善したことを示した[9)]。これまでの運動強度と認知機能の関係についてメタアナリシスを用いてまとめた研究によると，低強度から中強度の運動において，認知機能の向上がみられることが報告された[10)]。このことは，認知機能の向上のためには必ずしも高い運動負荷が必要ではない可能性を示唆している。

低強度から中強度の運動は，その内容や実施時間によっては，生体内における生理的変化により疲労を伴うことがある。その一方で，疲労を惹起する顕著な生理的な応答を伴わずに[5,6)]，ストレス反応の軽減や気分の改善など，心理面で有益な

1）公益財団法人 明治安田厚生事業団体力医学研究所　Physical Fitness Research Institute, Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare, Tokyo, Japan.
2）電気通信大学情報理工学研究科知能機械工学専攻　Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems, Control Systems Program, University of Electro-communications, Tokyo, Japan.

効果をもたらす[26]運動として，ストレッチ運動が注目されている。しかしながら，ストレッチ運動が認知機能に及ぼす影響を明らかにしたエビデンスはなく，心理的変化と認知機能の関係性についても明らかになっていない。

そこで本研究では，一過性のストレッチ運動が心理的効果と認知機能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。認知課題には，実行機能が要求される視覚探索課題を用いた。また，心理的変化として質問紙を用いた感情変化を記録した。更に本研究では，一過性のストレッチ運動が認知機能に及ぼす影響の機序を明らかにするために，近赤外線分光法（NIRS 法）を用いて脳の酸素化動態の計測，および心電図を用いて自律神経活動の計測を行った。NIRS 法は，簡便，かつ，非侵襲的に脳の酸素化動態を解析し，脳における神経活動を間接的に記録することが可能である。また自律神経活動の交感神経活動と副交感神経活動のバランスの測定から，一過性のストレッチ運動が生体に及ぼす効果を評価できる。したがって，これらの測定は一過性の運動が認知機能に及ぼす影響の機序を検討するのに有効な手法であるといえる。一過性のストレッチ運動が認知機能に及ぼす影響を明らかにすることは，認知機能を向上させるために適した運動強度を処方する際に有益な情報となることが考えられる。更に，これまで運動と認知機能の関係について検討した研究では着目されてこなかった運動による感情の変化が認知機能に及ぼす効果について新たな知見を提供することが期待される。

方　法

A．被験者とグループ分け

被験者の募集は，某大学内にて20～30歳の現在治療を要してない男性をポスター掲示にて募集した。被験者は，応募してきた健常な若年男性16名を被験者とし，応募順にコントロール群（８名），ストレッチ群（８名）の２群に分けた。

B．実験プロトコール

被験者には，実験開始１時間前より飲食を控えるよう指示した。実験開始30分前より運動を控えてもらい，その後実験を開始した。ストレッチ運動は，静的ストレッチで構成されたプログラムを中心に実施した（ストレッチ群）[32]。ストレッチ運動の実施時間は，静的ストレッチに関する総説[7]をもとに，その平均的な実施時間である30分間とした。コントロール群は，30分間の安静な状態を維持した。両群とも，実験中におけるパソコンなどでの作業を禁止したが，リラックスした状態を心がけるよう指示した。測定は，コントロール群，およびストレッチ群の実施前（pre）と実施後（post）に行った（図１）。

C．測定調査内容

１．調査項目

1）被験者特性

被験者の身体特性として，実験開始時における身長，体重を測定した。

2）感情状態の測定

感情状態の測定には，Mood Check List-Short form 2（MCL-S.2）[16]と一過性運動に用いる感情尺度（Waseda affect scale of exercise and durable activity; WASEDA）[2-4]の２種類を用いた。MCL-S.2は，快感情，リラックス感，不安感の３因子で構成され，12項目の設問に７件法で回答するリッカート尺度で評価した。WASEDA は，否定的感情，高揚感，落ち着き感の３因子で構成され，12項目の設問に５件法で回答するリッカート尺度で評価した。本研究では，この２種類の尺度における質問

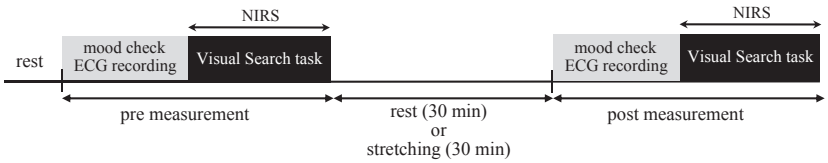

図１．実験プロトコール

Figure 1. The experimental protocol.

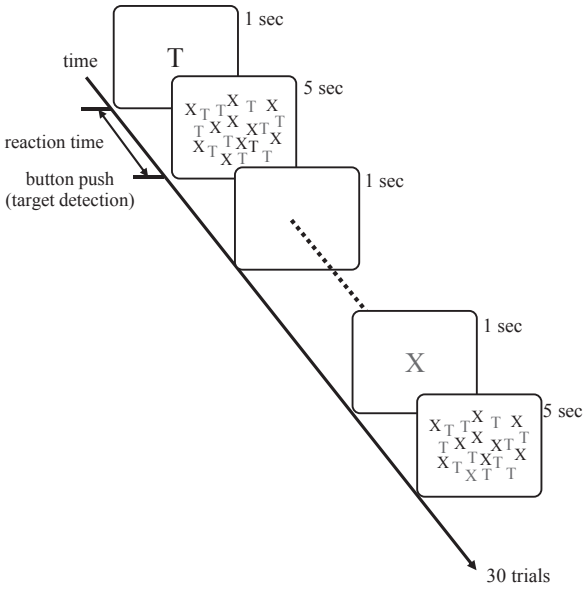

図２．視覚探索課題
Figure 2. Example of the Visual Search task.

紙を用いて，現在の感情状態を記入させた。

２．測定項目

1） 認知機能評価

視覚探索課題(Visual Search task; VS)は，目標刺激(緑字 T または赤字 X)を呈示した後，次に呈示されるセッションにて妨害刺激(赤字 T10個，および緑字 X10個の複数呈示)中から目標刺激を探索し回答する内容とした。これを 1 試行として，30試行実施した後，正解率とエラー率を算出した(図２)。また，それぞれの認知課題は，課題の呈示開始からボタンを押すまでの時間を反応時間として記録した。本課題は，実験を開始する前に練習時間を設けた。

2） 脳の酸素化動態の測定

脳の酸素化動態は，単チャンネル式近赤外線分光法装置(near-infrared spectroscopy; NIRS, NIRO-200，浜松ホトニクス)を用いて左側前頭前野における酸素化動態を評価した。NIRS 法のプローブは，左前頭前野(前頭極)に装着し，遮光のために前頭前野全体を布で覆った。脳の酸素化動態は，両群における pre-post の認知課題実施中に計測した。NIRS 法から計測された酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)，脱酸素化ヘモグロビン(deoxy-Hb)，組織に含まれる酸素化ヘモグロビンの割合(TOI)は，安静時の値からの変化量を算出し，両群間で比較を行った。

3） 自律神経活動の測定

本研究では，ストレッチ運動による自律神経活動への効果を心電図から定量化した。心電図の測定には，PowerLab(PL3516 PowerLab 16/35, ADInstruments) と バ イ オ ア ン プ(FE132, ADInstruments)を用いて解析・定量化した。計測時間は 4 分間とし，計測は閉眼状態で行い，計測中は座位による安静状態を保った。自律神経活動は，心電図の R 波から求めた心拍変動の周波数成分をスペクトラム解析(PowerLab Chart 8 , ADInstruments)して得られた高周波成分(HF 成分：0.15 Hz 以上)と低周波成分(LF 成分：0.04～0.15 Hz)の比(LF/HF 比)，および自律神経活動全体を反映する total power (周波数 0 ～0.4 Hz のパワースペクトル)により評価した。

D．統計解析

ストレッチ運動の効果を検定するため，コントロール群，およびストレッチ群の各測定項目の変化を二元配置の分散分析を用いて検定した。有意水準は， 5 %未満を交互作用ありとした。交互作用が得られた場合は，Bonferroni による多重比較検定を実施した。すべてのデータ集計，および統計処理は，IBM SPSS® Statistics 21.0を用い，平均値 ± 標準偏差で示した。

E．倫理的配慮

被験者に対して本研究の趣旨と内容について文書，および口頭で十分な説明を行い，参加同意を書面にて得た。本研究は，公益財団法人 明治安田厚生事業団倫理審査委員会の承認を得た(承認番号：26004)。

結　果

A．被験者特性

両群間における年齢(コントロール群：23.9±2.3歳，ストレッチ群：23.8±2.1歳)，身長(コントロール群：175.1±3.4 cm，ストレッチ群：172.2±3.9 cm)，体重(コントロール群：69.6±5.5 kg，ストレッチ群：68.7±6.3 kg)に有意差はみられな

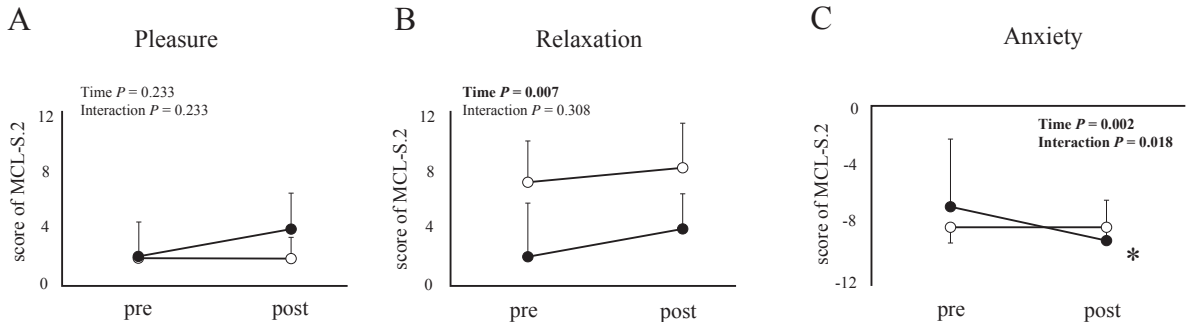

図３．MCL-S.2によるストレッチ運動前後の感情変化

Figure 3. Change of mood states on stretch by MCL-S.2.

Effect of pre and post by rest state（○）and stretch exercise（●）on Pleasure（A）, Relaxation（B）, and Anxiety（C）.

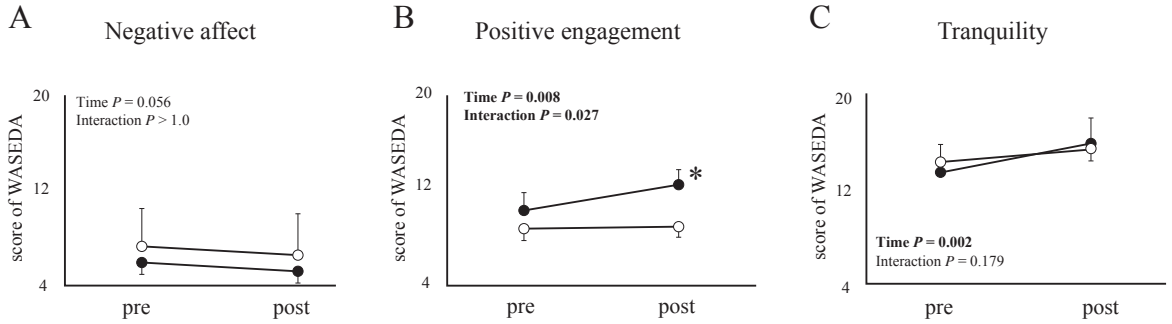

図４．WASEDA によるストレッチ運動前後の感情変化

Figure 4. Change of mood states on stretch by WASEDA.

Effect of pre and post by rest state（○）and stretch exercise（●）on Negative affect（A）, Positive engagement（B）, and Tranquility（C）.

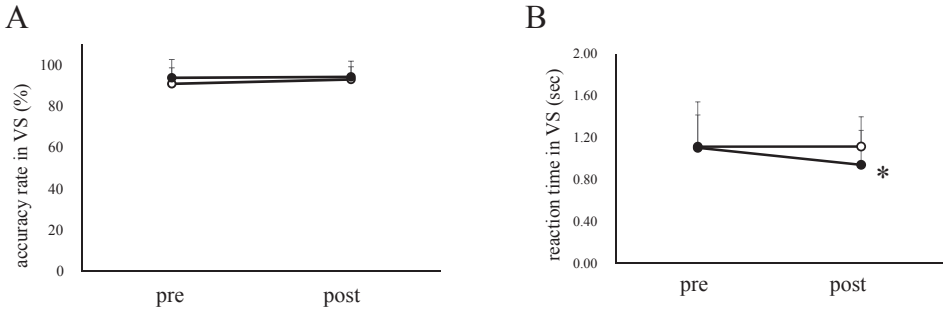

図５．視覚探索課題における正解率（A）および反応時間（B）

Figure 5. The accuracy rate（A）and reaction time（B）in the Visual Search task（VS）.

White indicates in Control group. Black indicates in Stretching group. *$P < 0.05$.

かった。

B．感情変化

MCL-S.2を用いて測定したスコアを比較した結果，快感情では，両群間に差異はみられなかった。リラックス感は，時間経過に対する主効果がみられた。不安感は，時間に対する主効果，および有意な交互作用が認められ，ストレッチ群では実施後に有意に低下した（図３）。

WASEDA を用いて測定した感情状態は，高揚感と落ち着き感において時間経過に対する主効果がみられた。更に，高揚感では有意な交互作用が認められ，実施後においてコントロール群よりもストレッチ群にて有意な増加が示された（図４）。

表１．認知課題実施中における酸素化ヘモグロビン，脱酸素化ヘモグロビン，組織中の総酸素化ヘモグロビン
Table 1. Oxy-Hb, deoxy-Hb, and TOI during the cognitive task.

		Visual Search task					
	group	Pre		Post		Time	Intraction
		mean	SD	mean	SD	*P*	*P*
⊿oxy−Hb	Control	0.51	(2.04)	−0.53	(1.20)	0.056	0.994
	Stretching	0.20	(1.60)	−0.82	(0.59)		
⊿deoxy−Hb	Control	−0.56	(0.84)	0.00	(0.77)	0.333	0.629
	Stretching	0.39	(0.80)	0.01	(0.88)		
⊿TOI	Control	0.27	(−0.36)	−0.36	(1.44)	0.088	0.855
	Stretching	−0.41	(1.74)	−0.53	(0.49)		

表２．心拍変動を用いた自律神経機能評価
Table 2. Autonomic nervous system assessment by HR variability.

	group	Pre		Post		Time	Intraction
		mean	SD	mean	SD	*P*	*P*
HR (bpm)	Control	78.90	(13.21)	71.04	(9.29)	0.025	0.445
	Stretching	68.57	(10.73)	64.67	(0.79)		
total power (ms^2)	Control	2529.33	(2452.09)	4079.33	(3201.78)	0.015	0.681
	Stretching	2744.82	(2062.10)	3887.58	(2776.95)		
HF (ms^2)	Control	571.92	(495.68)	772.81	(609.75)	0.651	0.514
	Stretching	1286.22	(1600.35)	1249.50	(966.18)		
LF (ms^2)	Control	1270.16	(1892.69)	2200.76	(2889.55)	0.044	0.528
	Stretching	609.62	(378.52)	1119.40	(885.15)		
LF/HF	Control	3.97	(6.05)	5.67	(10.78)	0.325	0.450
	Stretching	1.08	(0.77)	1.31	(0.86)		

C．認知機能評価

視覚探索課題における正解率は，両群間に有意な差異はみられなかったが，反応時間において時間経過に対する主効果がみられた。更に，反応時間は，有意な交互作用が認められ，実施後においてコントロール群よりもストレッチ群にて有意な短縮（$P = 0.031$）を示した（図５）。

D．脳の酸素化動態

両群での視覚探索課題実施中における⊿oxy-Hb，⊿deoxy-Hb，⊿TOI は，統計学的に有意な差異はみられなかった（表１）。

E．自律神経活動

２群間における心拍数，および自律神経活動の指標である total power，LF 成分は，時間経過に対する主効果がみられた（HR: $P = 0.025$, total power: $P = 0.015$, LF: $P = 0.044$）。一方で，LF/HF 比には有意な差異はみられなかった（表２）。

考　察

本研究では，ストレッチ運動後において心拍数および自律神経活動は，両群間における変化がみられなかった。自律神経系活動は，運動や疲労，感情などの変化に応答することが知られている。したがって，本研究で実施したストレッチ運動は，自律神経活動に顕著な変化をもたらすものではなかったことが考えられる。また，認知機能を評価した結果，ストレッチ運動後に視覚探索課題の反応時間には短縮がみられた。視覚探索とは，刺激呈示から目標刺激の検出までのプロセスを指す。本研究で用いた視覚探索課題は，特定の目標刺激

をその他の妨害刺激のなかから見つけ出す課題であり，結合探索課題に区分される。このような結合探索課題では，被験者は逐次探索を行うため，眼球運動が反応の速さに影響を与えると考えられている[20]。先行研究では，感情状態の変化を促す手段として視覚探索課題前にポジティブな感情を喚起する表情を呈示することで，視覚探索の反応時間が短縮することが報告されており[34]，その後の研究から，この反応時間の短縮には眼球運動の停留回数の減少が貢献していることが示唆された[31]。これらの知見は，視覚探索のような課題では，反応の速さに感情の状態が大きな影響を与えることを示唆している。本研究では，ストレッチ運動の実施後において，不安感の低下と高揚感の向上といったポジティブな感情状態がみられた。これらの結果から，本研究のストレッチ運動後にみられた視覚探索課題における反応時間の短縮は，ポジティブな感情状態下で視覚探索課題を実施したことに起因するかもしない。これまで，一過性のストレッチ運動が認知機能に及ぼす影響に関する知見は限られており，ストレッチ運動による視覚探索課題のパフォーマンス向上に感情変化がどこまで関与しているのかについては，今後の更なる検討が必要であると考えられる。

本研究では，ストレッチ運動が認知機能と脳内の酸素化動態に及ぼす影響を検証するためにNIRS法を用いて認知課題実施中に連続的に脳内の酸素化レベルを計測した。脳で神経活動が生じると，脳血流が増加することは広く知られており，この現象は神経－血管カップリングと呼ばれている[22]。先行研究でも運動後の認知課題中に前頭前野でのoxy-Hbの増加が報告されているが[9,11,18,33]，これらは，脳内における神経活動を反映していると考えられている。本研究では，認知課題中における脳の酸素化動態の変化には，ストレッチ運動による統計学的な有意差はみられなかった。また，本研究で計測した脳の酸素化動態の変化は，課題に関連する神経活動だけでなく，モチベーションや課題に対する慣れなどの要因を含んでいると考えられる。更に，近年の研究からNIRS法で計測する酸素化動態は，皮膚血流の影響も受けることが指摘されている[17,28-30]。したがって，今後は認知課題中の酸素化動態の変化がどこまで神経活動を反映しているのかについては慎重に検討していく必要があると考える。

本研究では被験者に事前に十分に課題に慣れてもらったうえで実験を行ったものの，認知課題における学習効果の影響を受けることも考慮する必要があるかもしれない。本研究で用いたストレッチ運動は，30分間の比較的簡単に行うことができるストレッチプログラムを用いた。そのため，生体への身体負荷が異なる体操やヨガなどを用いたプログラムやストレッチ時間が異なる条件での検証も必要となるであろう。また，運動負荷による感受性を考慮すると，被験者をクロスオーバーにした実験を行い，改めて検証する必要があると考えられる。本研究では，認知課題の正答率が全体的に高くなるような難易度であったため，正答率をもとにした認知機能の評価は難しかった。課題の難易度は，認知機能を評価するうえで重要な要因の1つであることを考えると[12,21]，今後はより難易度が高い認知課題において，一過性のストレッチ運動による効果の検証も必要となることが考えられる。

総　括

本研究では，30分間のストレッチ運動がヒトの認知機能，脳の酸素化動態，感情に及ぼす影響について検討し，以下の結果を得た。1）ストレッチ運動後に視覚探索課題では反応時間の短縮がみられた。2）ストレッチ運動実施前後で認知課題中の脳の酸素化動態に差はみられなかった。3）ストレッチ群では，不安感の低下および高揚感の向上がみられた。

今後は，一過性のストレッチ運動がもたらす感情の変化と認知機能の関係性を解明するだけでなく，さまざまなニューロイメージング手法を用いて，ストレッチ運動が脳機能に及ぼす影響について詳細な検討をする必要があると考えられる。

参考文献

1）Ando, S., Hatamoto, Y., Sudo, M., Kiyonaga, A., Tanaka, H., and Higaki, Y.（2013）: The effects of exercise under hypoxia on cognitive function. PLoS One, **8**, e63630.

2）荒井弘和，松本裕史，竹中晃二（2004）: Waseda Affect Scale of Exercise and Durable Activiy（WASEDA）における構成概念妥当性および因子妥当性の検討．体育測定評価研究，**4**, 7－11.

3）荒井弘和，竹中晃二，岡浩一朗（2003）: 一過性運動に用いる感情尺度―尺度の開発と運動時における感情の検討．健康心理学研究，**16**, 1－10.

4）荒井弘和，堤　俊彦（2007）: 一過性のウォーキングに伴う感情の変化とウォーキングに伴う感情を規定する認知的要因．行動医学研究，**13**, 6－13.

5）Bacurau, R.F., Monteiro, G.A., Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., Cabral, L.F., and Aoki, M.S.（2009）: Acute effect of a ballistic and a static stretching exercise bout on flexibility and maximal strength. J. Strength Cond. Res., **23**, 304－308.

6）Behm, D.G.（2004）: Force maintenance with submaximal fatiguing contractions. Can. J. Appl. Physiol., **29**, 274－290.

7）Behm, D.G. and Chaouachi, A.（2011）: A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. Eur. J. Appl. Physiol., **111**, 2633－2651.

8）Brisswalter, J., Collardeau, M., and Rene, A.（2002）: Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. Sports Med., **32**, 555－566.

9）Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Ochi, G., Sakairi, Y., Kato, M., Dan, I., and Soya, H.（2014）: Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. Neuroimage, **98**, 336－345.

10）Chang, Y.K., Labban, J.D., Gapin, J.I., and Etnier, J.L.（2012）: The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. Brain Res., **1453**, 87－101.

11）Endo, K., Matsukawa, K., Liang, N., Nakatsuka, C., Tsuchimochi, H., Okamura, H., and Hamaoka, T.（2013）: Dynamic exercise improves cognitive function in association with increased prefrontal oxygenation. J. Physiol. Sci., **63**, 287－298.

12）Etnier, J.L. and Chang, Y.K.（2009）: The effect of physical activity on executive function: a brief commentary on definitions, measurement issues, and the current state of the literature. J. Sport Exerc. Psychol., **31**, 469－483.

13）Fredrickson, B.L. and Branigan, C.（2005）: Positive emotions broaden the scope of attention and thought-action repertoires. Cogn. Emot., **19**, 313－332.

14）Gasper, K.（2004）: Do you see what I see? Affect and visual information processing. Cogn. Emot., **18**, 405－421.

15）Gasper, K. and Clore, G.L.（2002）: Attending to the big picture: mood and global versus local processing of visual information. Psychol. Sci., **13**, 34－40.

16）橋本公雄，村上雅彦（2011）: 運動に伴う改訂版ポジティブ感情尺度（MCL-S.2）の信頼性と妥当性．健康科学，**33**, 21－26.

17）Hirasawa, A., Yanagisawa, S., Tanaka, N., Funane, T., Kiguchi, M., Sorensen, H., Secher, N.H., and Ogoh, S.（2015）: Influence of skin blood flow and source-detector distance on near-infrared spectroscopy-determined cerebral oxygenation in humans. Clin. Physiol. Funct. Imaging, **35**, 237－244.

18）Hyodo, K., Dan, I., Suwabe, K., Kyutoku, Y., Yamada, Y., Akahori, M., Byun, K., Kato, M., and Soya, H.（2012）: Acute moderate exercise enhances compensatory brain activation in older adults. Neurobiol. Aging, **33**, 2621－2632.

19）Komiyama, T., Sudo, M., Higaki, Y., Kiyonaga, A., Tanaka, H., and Ando, S.（2015）: Does moderate hypoxia alter working memory and executive function during prolonged exercise? Physiol. Behav., **139**, 290－296.

20）Kowler, E., Anderson, E., Dosher, B., and Blaser, E.（1995）: The role of attention in the programming of saccades. Vision Res., **35**, 1897－1916.

21）Lambourne, K. and Tomporowski, P.（2010）: The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. Brain Res., **1341**, 12－24.

22）Leybaert, L.（2005）: Neurobarrier coupling in the brain: a partner of neurovascular and neurometabolic coupling? J. Cereb. Blood Flow Metab., **25**, 2－16.

23）McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., and Hale, B.J.（2011）: Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. Physiol. Behav., **102**, 421－428.

24）Mikels, J.A., Reuter-Lorenz, P.A., Beyer, J.A., and Fredrickson, B.L.（2008）: Emotion and working memory: evidence for domain-specific processes for affective maintenance. Emotion, **8**, 256－266.

25）村上嵩至（2010）: 大きさの異なる Navon 刺激の視認知に気分が及ぼす影響：指標としての閾値の有用性．認知心理学研究，**7**, 79－88.

26）永松俊哉，甲斐裕子（2014）: 低強度のストレッチ運動が軽度睡眠障害者の睡眠およびストレス応答に及ぼす影響．体力研究，**112**, 1－7.

27）Ogoh, S. and Ainslie, P.N.（2009）: Regulatory mechanisms of cerebral blood flow during exercise: new con-

cepts. Exerc. Sport Sci. Rev., **37**, 123－129.

28）Ogoh, S., Sato, K., Fisher, J.P., Seifert, T., Overgaard, M., and Secher, N.H.（2011）: The effect of phenylephrine on arterial and venous cerebral blood flow in healthy subjects. Clin. Physiol. Funct. Imaging, **31**, 445－451.

29）Sorensen, H., Secher, N.H., Siebenmann, C., Nielsen, H.B., Kohl-Bareis, M., Lundby, C., and Rasmussen, P.（2012）: Cutaneous vasoconstriction affects near-infrared spectroscopy determined cerebral oxygen saturation during administration of norepinephrine. Anesthesiology, **117**, 263－270.

30）Takahashi, T., Takikawa, Y., Kawagoe, R., Shibuya, S., Iwano, T., and Kitazawa, S.（2011）: Influence of skin blood flow on near-infrared spectroscopy signals measured on the forehead during a verbal fluency task. Neuroimage, **57**, 991－1002.

31）上田祥行，吉川左紀子（2012）: 課題非関連な笑顔に夜視覚探索の促進．Technical Report on Attention and Cognition, **4**.

32）山本利春（2014）: 100人のトレーナーが選ぶ 本当に効く ストレッチ！（マガジンハウスムック）．マガジンハウス，東京．

33）Yanagisawa, H., Dan, I., Tsuzuki, D., Kato, M., Okamoto, M., Kyutoku, Y., and Soya, H.（2010）: Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. Neuroimage, **50**, 1702－1710.

34）吉川左紀子，上田祥行（2012）: 感情・認知機能に及ぼす他者・モノの影響．こころの未来，**10**, 45.