
若年者における有酸素能力と前部島皮質灰白質量 および精神的健康度の関係

泉水宏臣¹⁾ 中原(権藤)雄一¹⁾ 永松俊哉¹⁾ 藤本敏彦²⁾

The relationship between aerobic capacity and gray matter volume of anterior insular cortex and mental health in healthy young adults

Hiroomi Sensui, Yuichi Nakahara-Gondoh, Toshiya Nagamatsu,
and Toshihiko Fujimoto

SUMMARY

Previously, we reported the possibility that aerobic exercise training preserve the gray matter volume of anterior insular cortex (AIC) even in healthy young adult. Because aerobic exercise training simultaneously improved mental health, we hypothesized that psychological benefit of exercise was associated with AIC, which is considered to yield subjective feelings by integrating sensory input from the body. In the present study, we examined the correlation analysis between aerobic capacity and regional brain gray matter volume to examine the relationship between exercise and AIC. In addition, the relationship between gray matter volume of AIC and indices of mental health were also examined.

Right handed university students (80 males and 21 females) were participated in the present study. After the acquisition of high resolution T1 MRI image, subjects completed self-reported questionnaires measuring mental health (generalized self-efficacy, self-acceptance, subjective happiness and development of identity). Then, $\dot{V}O_{2max}$ was estimated using an incremental submaximal exercise test on a cycle ergometer. The relationship between regional gray matter volume and $\dot{V}O_{2max}$ was analyzed using optimized voxel-based morphometry (VBM) technique. If the significantly correlated cluster was observed in AIC, the relationship between the cluster value and indices of mental health were examined.

The VBM analysis showed significant correlation between $\dot{V}O_{2max}$ and regional gray matter volume of left AIC (positive correlation) and striate cortex (negative correlation). The gray matter volume of left AIC was also correlated with indices of mental health (positive correlation with self-acceptance of physical area and subjective happiness).

The results of this study suggest that exercise influences the AIC structure, which may be associated with psychological benefit of exercise.

Key words: maximal oxygen uptake, insula, voxel-based morphometry, psychological well-being.

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) 東北大学高等教育開発推進センター

Center for the Advancement of Higher Education, Tohoku University, Sendai, Japan.

緒 言

運動がメンタルヘルスの維持増進に効果的であることを多くの研究が報告している^{11,23,28)}。運動の効果は、うつ病患者^{20,25)}や統合失調症患者^{10,26,29)}などの精神疾患患者においても報告されており、精神疾患の代替医療としての役割が期待される。しかしながら、運動をメンタルヘルスの維持増進や精神科の治療に役立てようとする社会的な動きは乏しいのが現状である。その要因の1つとして、運動がメンタルヘルスを改善するメカニズムの解明が不十分な点が考えられ、更なる研究が必要とされている。

近年、環境や学習の影響によって成人の脳構造が変化することが知られている^{6,7,18,21)}。例えば、ジャグリングの学習が視覚野の灰白質を増加させたという報告などがある⁶⁾。運動と脳構造の関係については、高齢者において、高い有酸素能力が年齢による脳の委縮の抑制に繋がるとの報告があり、運動が広範な領域の脳構造に影響を及ぼす可能性が示されている³⁾。しかしながら、脳が委縮する高齢者と異なり、若年者において、運動が脳構造に及ぼす影響は明らかになっていない。そこで我々は、先行研究において、有酸素運動トレーニングが若年者の脳構造に及ぼす影響を検討した⁸⁾。その結果、トレーニングを行わなかった群では前部島皮質の灰白質量が低下するのに対し、トレーニングを行った群では前部島皮質の灰白質量が維持されたことから、若年者においても運動が脳構造に影響を及ぼす可能性が示唆された。また同時に、有酸素運動トレーニングはメンタルヘルスの改善をもたらした。前部島皮質の機能は、身体のあらゆる組織からの感覚情報を統合して主観的な感情を生成し、ホメオスタシスの維持や自己の存在に対する気づきに繋がると考えられている^{4,5)}。つまり前部島皮質は、身体の状態を感情へと変換することで適切な行動へと導き、固体の生命や健康の維持に貢献する部位と考えられる。このことから、運動がメンタルヘルスを改善するメカニズムの1つとして、前部島皮質の構造への

影響が関与している可能性が考えられる。

運動が前部島皮質の構造に影響を及ぼすことを支持する結果はPeters et al.²⁴⁾によっても報告されている。この研究では、有酸素能力が高い者ほど島皮質の灰白質密度が高いことを報告している。しかしながら、Peters et al.²⁴⁾の報告は被験者数も少なく、最終的な結論を導くにはエビデンスとして不十分である。そこで本研究では、有酸素能力と前部島皮質構造の関係に再現性がみられるかどうかを確認するため、若年者において、有酸素能力と脳局所灰白質量の関係を検討した。また、有酸素能力が前部島皮質の構造と関係したとしても、その部位がメンタルヘルスに影響を及ぼすかどうかは明らかではない。そこで本研究では、有酸素能力と前部島皮質との相関がみられた部位において、局所灰白質量とメンタルヘルスの関係を検討することとした。

方 法

大学生101名（男性80名、女性21名）が本研究の被験者として参加した。すべての被験者は、右利き、非喫煙者であった。年齢、身長、体重は、男性が 21.2 ± 2.3 歳、 171.1 ± 5.2 cm、 62.9 ± 8.0 kg、女性が 20.4 ± 1.0 歳、 157.9 ± 5.3 cm、 51.6 ± 5.3 kgであった。

各被験者に対し、本研究の目的および危険性を説明した後、文書によるインフォームドコンセントを得た。その後、高解像度のT1強調脳MRI画像を撮影し、自記式のアンケートを用いたメンタルヘルスの測定、推定最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の測定を順に行った。撮影した脳MRI画像をもとに、optimized voxel-based morphometry (VBM) technique^{1,9)}を用いて脳の局所灰白質量と $\dot{V}O_{2max}$ の相関関係を検討し、前部島皮質と有酸素能力の関係を確認した。更に、前部島皮質と有酸素能力の相関関係が確認された部位については、その部位の灰白質量とメンタルヘルスの指標との相関関係を検討した。本実験プロトコルは、東北大学医学部倫理審査委員会の承認を受け実施された。

A. 推定最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の測定

有酸素能力の指標として、 $\dot{V}O_{2max}$ を用いた。 $\dot{V}O_{2max}$ の測定は、自転車エルゴメータを用いた最大下運動負荷試験により行った。各被験者に毎分60回転でペダルを漕がせ、3分ごとに1kpから3kpまで段階的に負荷を増強した際の心拍数および酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を測定した。心拍数と $\dot{V}O_2$ の関係²⁾ から、推定最大心拍数 (220 - 年齢) における $\dot{V}O_2$ を計算により推定し、 $\dot{V}O_{2max}$ とした。

B. optimized VBM

脳 MRI 画像は、1.5 T の MRI 装置 (Signa 1.5T, General Electric, Milwaukee, WI, USA) を用い、SPGR シーケンス (TR/TE: 50/2.4 msec, FA: 45 degrees, number of excitation: 1, field of view: 22 cm, matrix size: 256 × 256, slice thickness: 2 mm) により T1 強調脳 MRI 画像を撮影した。

得られた脳 MRI 画像は、optimized VBM 法^{1,9)} を用いて処理を行った。画像の処理は、Statistical Parametric Mapping software (SPM2, Wellcome Department of Neuroscience, London; available at <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>) と、Christian Gaser (University of Jena, Department of Psychiatry) によって作成されたソフト (VBM2, available at <http://dbm.neuro.uni-jena.de/vbm/>) を用いて行った。optimized VBM の手順は Good et al.⁹⁾ の報告に従った。以下に概要を説明する。

まず、各個人の脳画像に対して Montreal Neurological Institute (MNI) が作成したテンプレート画像を用いて空間的標準化 (spatial normalization) を行い、標準化された画像を灰白質、白質、脳脊髄液の各部位に分割した。標準化された画像および分割した各画像を平均化し、本研究で用いるオリジナルのテンプレートを作成した。各個人の脳画像は、オリジナルのテンプレートを用いて再び標準化し、灰白質、白質、脳脊髄液の各部位に分割した。この過程で画像は 1 × 1 × 1 mm の isovoxel 画像になるよう補間した。再標準化の際に使用したパラメータから Jacobian 行列式を求め、抽出された灰白質画像に乗じることで、脳局所の灰白質量が保存された画像を作成した。得られた

画像を、半値幅 12 mm のガウシアンフィルタでスムージングし、以降の統計解析に用いた。

C. メンタルヘルス

メンタルヘルスの測定は、特性的自己効力感尺度²²⁾、自己受容測定尺度²⁷⁾、日本版主観的幸福感尺度³⁰⁾、アイデンティティ尺度³¹⁾ の下位尺度であるアイデンティティの発達に関する尺度を用いた。特性的自己効力感尺度では、23項目の質問に対して5件法で回答を行い、自己の能力に対する認知傾向を23～115点の範囲で評価した。自己受容測定尺度は、35項目の質問に対して5件法で回答を行い、自己の身体面や精神面などのさまざまな点に対する受容度を35～175点の範囲で評価した。自己受容測定尺度に関しては、その下位尺度である身体的自己項目 (8～40点)、精神的自己項目 (15～75点) の評価も行った。日本版主観的幸福感尺度では、4項目の質問に対して7件法で回答を行い、4項目の平均値 (1～7点) を用いて幸福の主観的な評価を行った。アイデンティティ尺度は、10項目の質問に対して4件法で回答を行い、自律性と自信を10～40点の範囲で評価した。いずれの尺度も、得点が高いほどメンタルヘルスが良好であることを示す。

D. 統計

画像の統計解析では、スムージングした灰白質画像の各ボクセル値 (灰白質量) と推定 $\dot{V}O_{2max}$ の関係を一般線形モデルより全脳で検討した。脳容量の個人差と性差による脳構造の違いを統制するため、灰白質の全容量および性別を交絡因子としてモデルに組み込んだ。また、 $\dot{V}O_{2max}$ の性差を統制するため、20歳代の日本人平均値 (男性 49.6 ± 7.2 , 女性 34.7 ± 7.2 ml/kg/min)³³⁾ に対する偏差値を算出し、これを各個人の値として用いた。各ボクセルにおける相関関係は、 $P < 0.001$ を閾値とし、多重比較の補正のため、クラスター (ボクセルの集合) のサイズが $P < 0.05$ (family wise error correction) のものを有意とみなした。クラスターサイズテストには、Hayasaka et al.¹²⁾ によって妥当性が報告されている Worsley et al.³⁶⁾ の non-stationary random field theory cluster-size test を用いた。

各クラスターの解剖学的部位の特定は、anatomic automatic labeling (AAL) を用いて行った³⁴⁾。

$\dot{V}O_{2max}$ と前部島皮質の灰白質量に有意な相関関係がみられた際は、本研究の仮説に基づき、その部位における各個人のクラスターの値（交絡因子を調整した数値で、灰白質量に相当）と各心理指標との相関関係について、Pearsonの方法を用いて検討した。統計的閾値は、 $P < 0.05$ を有意とした。また参考のため、前部島皮質のクラスター値と $\dot{V}O_{2max}$ の相関係数を同様にPearsonの方法を用いて計算した。

本研究に示すデータは、平均値 ± 標準偏差で表示した。

結果

被験者の平均 $\dot{V}O_{2max}$ は、男性 53.0 ± 13.5 ml/kg/min、女性 39.34 ± 6.9 ml/kg/minであった。 $\dot{V}O_{2max}$ と脳局所灰白質量の関係を全脳で検討した結果を表1に示した。その結果、左前部島皮質 [x y z = -47 16 -9] において正の相関関係がみられた。また、視覚野 [x y z = 28 -92 15] において負の相関関係がみられた。 $\dot{V}O_{2max}$ と相関関係がみられた前部島皮質のクラスターを、被験者の平均脳画像上に示した(図1A)。左前部島皮質において $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関関係がみられたクラスターに関しては、クラスター値と $\dot{V}O_{2max}$ との関係 ($r = 0.42$, $P < 0.001$) を(図1B)に示した。

表1. 最大酸素摂取量と脳局所灰白質量の関係

Table 1. The correlates between $\dot{V}O_{2max}$ and regional gray matter volume in the brain.

	Side	Cluster size	MNI coordinate	Z-score
positive correlation				
AIC	L	2535	x = -47, y = 16, z = -9	4.68
negative correlation				
MOG / SOG	R	2123	x = 28, y = -92, z = 15	4.60

AIC; anterior insular cortex, MOG; middle occipital gyrus, SOG; superior occipital gyrus, L: left hemisphere, R: right hemisphere. The cluster size is the number of voxel (voxel size = 1 × 1 × 1 mm). Voxel threshold: $P < 0.001$, uncorrected. Cluster threshold: $P < 0.05$, FWE correction.

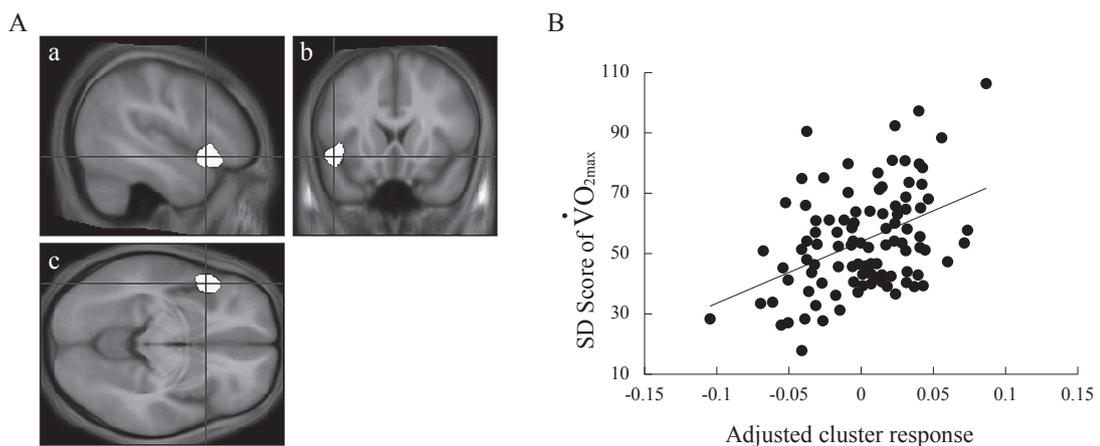


図1. A: $\dot{V}O_{2max}$ と正の相関関係が認められた前部島皮質の部位, B: 有酸素能力と左前部島皮質のクラスター値 (灰白質量に相当) との関係

Figure 1. A: The cluster [x y z = -47 16 -9] of anterior insular cortex positively correlated with $\dot{V}O_{2max}$ was superimposed on normalized brain image. a: sagittal view, b: coronal view, c: transverse view. B: The relationship between the adjusted VBM response value of left anterior insular cluster and the standard deviation scores of $\dot{V}O_{2max}$. $r = 0.42$, $P < 0.001$.

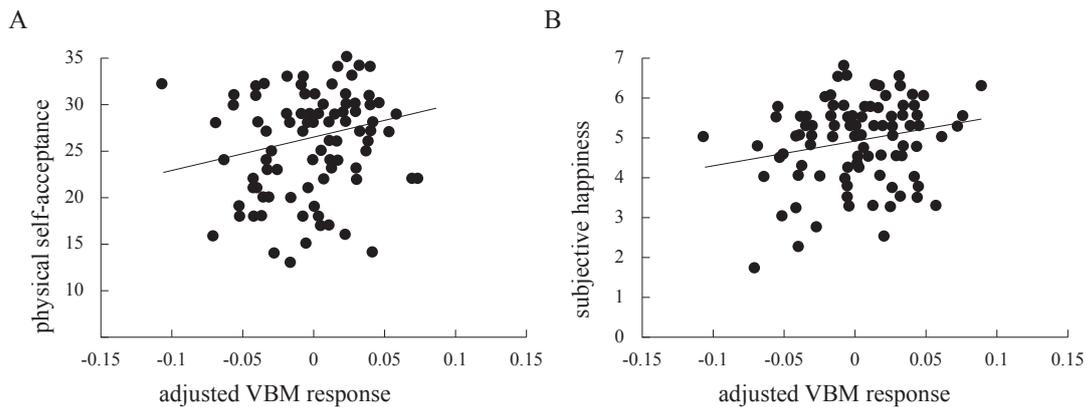


図2. 左前部島皮質のクラスター値（灰白質量に相当）とメンタルヘルスの関係

Figure 2. The relationship between the adjusted VBM response value of left anterior insular cluster and the score of mental health scales.

A: physical self-acceptance ($r = 0.20, P = 0.041$), B: subjective happiness ($r = 0.22, P = 0.028$).

各心理指標の平均得点は、特性的自己効力感 70.7 ± 12.1 点、自己受容度 118.7 ± 19.7 点（身体的自己項目 26.4 ± 6.9 点、精神的自己項目 49.6 ± 8.7 点）、主観的幸福感 4.9 ± 1.0 点、アイデンティティの発達 28.1 ± 4.7 点であった。 $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関関係がみられた左前部島皮質のクラスター値と各心理指標の相関関係を検討した結果、自己受容度の下位尺度である身体的自己項目 ($r = 0.20, P = 0.041$) と主観的幸福感 ($r = 0.22, P = 0.028$) において有意な正の相関関係がみられた。左前部島皮質の灰白質量と自己受容度（身体的自己項目）および主観的幸福感の関係を図2に示した。

考 察

本研究では、若年者において、有酸素能力と左前部島皮質の灰白質量に正の相関関係がみられた。また、左前部島皮質の灰白質量とメンタルヘルスの指標に正の相関関係がみられた。

我々は先行研究において、有酸素トレーニングが前部島皮質の灰白質量に影響を及ぼす可能性を示した。このことから、前部島皮質の構造が運動によって変化する可能性が示唆された。有酸素能力の高いものほど前部島皮質の灰白質密度が高いという Peters et al.²⁴⁾ と本研究の結果は、これを支持する結果といえる。しかし、Peters et al.²⁴⁾ の研究は被験者数も少なく（33名）、再現性のある

結果であるかどうか判断できなかった。しかしながら、若年者101名を用いた本研究の結果において、Peters et al.²⁴⁾ と同様の結果が得られたことから、有酸素能力と前部島皮質構造の関係は再現性のある結果であることが示唆された。また、Peters et al.²⁴⁾ は初期のVBM法¹⁾を用いたが、本研究ではoptimized VBM法⁹⁾を用いた。optimized VBM法では、空間的標準化を行う際、解析対象の被験者群からオリジナルのテンプレートを作成し、また、標準化パラメータから求めたJacobian行列式を画像に乗じることによって各個人の灰白質の量が保存された画像を解析に用いることができる。一方、初期のVBM法にはこのような手順が含まれていない。より精度の高いoptimized VBM法でもPeters et al.²⁴⁾ と同様の結果が再現されたことから、有酸素能力と前部島皮質の関係について、より信頼性が高められたと考えられる。

また、本研究では、有酸素能力と相関関係がみられた左前部島皮質の灰白質量がメンタルヘルスの指標とも関係していた点で興味深い結果といえる。メンタルヘルスを1つの単純な現象から説明するには限界があると思われるが、運動がメンタルヘルスに及ぼすメカニズムを考える際、感覚情報を統合して主観的感情を生じるという前部島皮質の機能^{4,5)}は無視できないだろう。本研究では、前部島皮質の機能を評価していないが、局所の脳

構造と機能に密接な繋がりがあることが先行研究より示唆されている^{6,7,18,21}。運動が前部島皮質の機能へ及ぼす影響については今後別の方法を用いて検討する必要があるが、本研究の結果は、運動による前部島皮質構造への影響がメンタルヘルスを改善するメカニズムの1つである可能性を示唆するものと思われる。

本研究の結果では、有酸素能力が島の構造に直接影響を及ぼすとまでは断定することができない。我々の先行研究⁸⁾では、有酸素能力の増加を伴わない有酸素トレーニングにおいても前部島皮質に影響が生じる可能性が示唆されている。Peters et al.²⁴⁾は、有酸素能力が前部島皮質の構造に直接影響すると考察しているが、このことから、有酸素能力の増加が島皮質の構造に直接影響を及ぼすとまでは考えにくい。脳構造は環境や学習による影響^{6,7,18,21}のほか、精神面^{14-16,19,32,35}とも関係していることが知られており、運動にかかわる環境や精神面の変化が間接的に前部島皮質の構造に影響を及ぼした可能性も考えられる。また、前部島皮質はあらゆる組織からの感覚情報が入力し統合される部位であることから、我々は運動の実施に伴うさまざまな感覚刺激が前部島皮質の構造に影響を与えたのではないかと予測している。感覚刺激が前部島皮質の構造に影響を及ぼす可能性は、感覚刺激に注意を向ける瞑想の実施が前部島皮質に影響を及ぼすことから示唆されている^{13,17}。

運動が脳構造に及ぼす影響については、更なる研究が必要と思われる。本研究では、前部島皮質のほかに、視覚野においても有酸素能力との相関関係（負の相関）がみられた。Peters et al.²⁴⁾の研究においても、統計的閾値の低い参考的な結果として、運動野や前頭葉などさまざまな部位に相関関係（正の相関）がみられたと報告している。視覚野にみられた負の相関関係やPeters et al.²⁴⁾の参考結果はType Iエラーの可能性も考えられるが、これらの部位の機能や結果の再現性については、更なる検討を行い判断する必要があるだろう。

本研究では、有酸素能力の高いものほど前部島皮質の灰白質量が多く、この部位の灰白質量はメ

ンタルヘルスの指標とも相関関係がみられた。前部島皮質は感覚情報を統合して主観的な感情を生成し、適切な行動へと導くことで固体の生命や健康の維持に貢献する部位と考えられている^{4,5}。このことから我々は、運動による前部島皮質の構造・機能の亢進が、運動によるメンタルヘルスの改善や身体面の健康にも寄与すると考えている。今後、本研究の仮説検証を含め、運動と心身の健康との関係について更なる研究が必要であろう。

総括

有酸素能力が高いものほど前部島皮質の灰白質量が多いという結果は、再現性のあるものと思われる。また、前部島皮質の灰白質量とメンタルヘルスの指標にも相関がみられたことから、運動が精神的効用を生じるメカニズムに前部島皮質の構造・機能が関与している可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Ashburner, J. and Friston, K.J. (2000): Voxel-based morphometry - the methods. *Neuroimage*, **11**, 805 - 821.
- 2) Astrand, P. and Rhyding, I. (1954): A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) for pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.*, **7**, 218 - 221.
- 3) Colcombe, S.J., Erickson, K.I., Raz, N., Webb, A.G., Cohen, N.J., McAuley, E., and Kramer, A.F. (2003): Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.*, **58**, 176 - 180.
- 4) Craig, A.D. (2009): How do you feel - now? The anterior insula and human awareness. *Nat. Rev. Neurosci.*, **10**, 59 - 70.
- 5) Craig, A.D. (2002): How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nat. Rev. Neurosci.*, **3**, 655 - 666.
- 6) Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., and May, A. (2004): Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training. *Nature*, **427**, 311 - 312.
- 7) Draganski, B., Gaser, C., Kempermann, G., Kuhn, H.G., Winkler, J., Buchel, C., and May, A. (2006): Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning. *J. Neurosci.*, **26**, 6314 - 6317.
- 8) Gondoh, Y., Sensui, H., Kinomura, S., Fukuda, H., Fujimoto, T., Masud, M., Nagamatsu, T., Tamaki, H., and

- Takekura, H. (2009): Effects of aerobic exercise training on brain structure and psychological well-being in young adults. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **49**, 129 – 135.
- 9) Good, C.D., Johnsrude, I.S., Ashburner, J., Henson, R.N., Friston, K.J., and Frackowiak, R.S. (2001): A voxel-based morphometric study of ageing in 465 normal adult human brains. *Neuroimage*, **14**, 21 – 36.
- 10) Gorczynski, P. and Faulkner, G. (2010): Exercise therapy for schizophrenia. *Cochrane Database Syst. Rev.*, CD004412.
- 11) 橋本公雄 (2000): 運動心理学研究の課題—メンタルヘルスの改善のための運動処方 の確立を目指して—。 *スポーツ心理学研究*, **27**, 50 – 61.
- 12) Hayasaka, S., Phan, K.L., Liberzon, I., Worsley, K.J., and Nichols, T.E. (2004): Nonstationary cluster-size inference with random field and permutation methods. *Neuroimage*, **22**, 676 – 687.
- 13) Holzel, B.K., Ott, U., Gard, T., Hempel, H., Weygandt, M., Morgen, K., and Vaitl, D. (2008): Investigation of mindfulness meditation practitioners with voxel-based morphometry. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, **3**, 55 – 61.
- 14) Job, D.E., Whalley, H.C., Johnstone, E.C., and Lawrie, S.M. (2005): Grey matter changes over time in high risk subjects developing schizophrenia. *Neuroimage*, **25**, 1023 – 1030.
- 15) Kaasinen, V., Maguire, R.P., Kurki, T., Bruck, A., and Rinne, J.O. (2005): Mapping brain structure and personality in late adulthood. *Neuroimage*, **24**, 315 – 322.
- 16) Kawasaki, Y., Suzuki, M., Nohara, S., Hagino, H., Takahashi, T., Matsui, M., Yamashita, I., Chitnis, X.A., McGuire, P.K., Seto, H., and Kurachi, M. (2004): Structural brain differences in patients with schizophrenia and schizotypal disorder demonstrated by voxel-based morphometry. *Eur. Arch. Psychiatry Clin. Neurosci.*, **254**, 406 – 414.
- 17) Lazar, S.W., Kerr, C.E., Wasserman, R.H., Gray, J.R., Greve, D.N., Treadway, M.T., McGarvey, M., Quinn, B.T., Dusek, J.A., Benson, H., Rauch, S.L., Moore, C.I., and Fischl, B. (2005): Meditation experience is associated with increased cortical thickness. *Neuroreport*, **16**, 1893 – 1897.
- 18) Maguire, E.A., Gadian, D.G., Johnsrude, I.S., Good, C.D., Ashburner, J., Frackowiak, R.S., and Frith, C.D. (2000): Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **97**, 4398–4403.
- 19) Matsuo, K., Nicoletti, M., Nemoto, K., Hatch, J.P., Peluso, M.A., Nery, F.G., and Soares, J.C. (2009): A voxel-based morphometry study of frontal gray matter correlates of impulsivity. *Hum. Brain Mapp.*, **30**, 1188 – 1195.
- 20) Mead, G.E., Morley, W., Campbell, P., Greig, C.A., McMurdo, M., and Lawlor, D.A. (2009): Exercise for depression. *Cochrane Database Syst. Rev.*, CD004366.
- 21) Mechelli, A., Crinion, J.T., Noppeney, U., O'Doherty, J., Ashburner, J., Frackowiak, R.S., and Price, C.J. (2004): Neurolinguistics: structural plasticity in the bilingual brain. *Nature*, **431**, 757.
- 22) 成田健一, 下仲順子, 中里克治, 河合千恵子, 佐藤眞一, 長田由紀子 (1995): 特性的自己効力感尺度の検討—生涯発達の利用の可能性を探る—. *教育心理学研究*, **43**, 306 – 314.
- 23) Paluska, S.A. and Schwenk, T.L. (2000): Physical activity and mental health: current concepts. *Sports Med.*, **29**, 167 – 180.
- 24) Peters, J., Dauvermann, M., Mette, C., Platen, P., Franke, J., Hinrichs, T., and Daum, I. (2009): Voxel-based morphometry reveals an association between aerobic capacity and grey matter density in the right anterior insula. *Neuroscience*, **163**, 1102 – 1108.
- 25) Rethorst, C.D., Wipfli, B.M., and Landers, D.M. (2009): The antidepressive effects of exercise: a meta-analysis of randomized trials. *Sports Med.*, **39**, 491 – 511.
- 26) Rohricht, F. and Priebe, S. (2006): Effect of body-oriented psychological therapy on negative symptoms in schizophrenia: a randomized controlled trial. *Psychol. Med.*, **36**, 669 – 678.
- 27) 沢崎達夫 (1993): 自己受容に関する研究 (1) —新しい自己受容測定尺度の青年期における信頼性と妥当性の検討—. *カウンセリング研究*, **26**, 29 – 37.
- 28) Scully, D., Kremer, J., Meade, M.M., Graham, R., and Dudgeon, K. (1998): Physical exercise and psychological well being: a critical review. *Br. J. Sports Med.*, **32**, 111 – 120.
- 29) 泉水宏臣, 肥田裕久, 藤本敏彦, 永松俊哉 (2011): 精神疾患患者への運動療法—デイケア施設における実践からの提言—. *体力研究*, **109**, 9 – 16.
- 30) 島井哲志, 大竹恵子, 宇津木成介, 池見陽, Lyubomirsky, S. (2004): 日本版主観的幸福感尺度 (Subjective Happiness Scale: SHS) の信頼性と妥当性の検討. *日本公衆衛生誌*, **10**, 845 – 853.
- 31) 下山晴彦 (1992): 大学生のモラトリアムの下位分類の研究—アイデンティティの発達との関連で—. *教育心理学研究*, **40**, 121 – 129.
- 32) Taki, Y., Kinomura, S., Awata, S., Inoue, K., Sato, K., Ito, H., Goto, R., Uchida, S., Tsuji, I., Arai, H., Kawashima, R., and Fukuda, H. (2005): Male elderly subthreshold depression patients have smaller volume of medial part of pre-

- frontal cortex and precentral gyrus compared with age-matched normal subjects: a voxel-based morphometry. *J. Affect. Disord.*, **88**, 313 – 320.
- 33) 東京都立大学体力標準値研究会編 (2000): 新・日本人の体力標準値. 320 – 326, 不昧堂出版, 東京.
- 34) Tzourio-Mazoyer, N., Landeau, B., Papathanassiou, D., Crivello, F., Etard, O., Delcroix, N., Mazoyer, B., and Joliot, M. (2002): Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *Neuroimage*, **15**, 273 – 289.
- 35) Wilke, M., Kowatch, R.A., DelBello, M.P., Mills, N.P., and Holland, S.K. (2004): Voxel-based morphometry in adolescents with bipolar disorder: first results. *Psychiatry Res.*, **131**, 57 – 69.
- 36) Worsley, K.J., Andermann, M., Koulis, T., MacDonald, D., and Evans, A.C. (1999): Detecting changes in nonisotropic images. *Hum. Brain Mapp.*, **8**, 98 – 101.