

平成22年 5月20日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2006～2009
 課題番号：18200041
 研究課題名（和文） 身体運動によるメンタルヘルス改善効果の分子機構解明とリサーチ・リソースの構築
 研究課題名（英文） Elucidation of molecular mechanisms of mental health improvement following a physical exercise and assembly of research resources
 研究代表者
 芝山 秀太郎（SHIBAYAMA HIDETARO）
 鹿屋体育大学・名誉教授
 研究者番号：00162644

研究成果の概要（和文）：身体運動がメンタルヘルス改善効果をもたらすメカニズムを分子・細胞レベルにおいて実験動物及びヒトを対象として検討し、運動処方プログラム開発のための基礎的資料を得ることを目的とした。長期間の運動トレーニング及び一過性の運動は、大脳皮質運動野における脳神経細胞の形態的、機能的変化を引き起こし、結果的にメンタルヘルスの改善をもたらされる可能性が考えられる。

研究成果の概要（英文）：We investigated the elucidation of molecular and cellular mechanisms of the improvement effect of mental health following a physical exercise using experimental animal models and humans; and we applied all these fundamental research resources to develop a specific exercise prescription program for mental health improvement. Long-term physical exercise training and transient exercise change the structural and functional profiles of nerve cells at motor cortex, and may cause the mental health improvement as a consequence.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
2007年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2008年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2009年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
年度			
総計	37,200,000	11,160,000	48,360,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：スポーツ生理学、メンタルヘルス、運動処方、自律神経機能

1. 研究開始当初の背景

ヒトの身体は日常生活の間に、光、気温、音、等の自然界からの刺激に加えて、対人関係から生じる刺激や21世紀の高度産業・情報化社会によってもたらされる様々な刺激（環境ホルモン、強度の人工的電磁波、等）

を受け続けている。これらの刺激の一部が過剰となり、生体が順応・適応できる範囲を超えると、生体のホメオスタシスが部分的に崩壊した状態（ストレス状態）となり、身体には様々な機能障害が生じる。ストレス状態が長期間継続すると、身体の適応（防衛）能力が完全に消失して「慢性ストレス状態」に陥

る。21世紀を迎えて急速に複雑化した社会システムを背景に、慢性ストレス状態の「予備群」も急増している。近年、慢性ストレス症候群に加えて、必ずしも器質的障害が認められないにも関わらず慢性的な疲労感を訴える「慢性疲労症候群」が急増し、その原因解明や予防・治療に関する研究が国内外で開始されている。

運動は、疾病予防や特異的疾患の治療の一環として日常的に行われているが、慢性ストレス症候群のメンタルヘルスの治療・改善手段としても、その効果が特に注目されている。慢性ストレスの状態では、アドレナリンが過剰に分泌して興奮状態に陥ることが知られているが、軽強度の運動は、この興奮状態を解消し、自律神経機能を安定させるため、慢性ストレス症候群には、毎日の生活の中に積極的に運動を取り入れることが推奨されている。加えて、生体機能の改善といった生理学的側面だけではなく、「大変前向きな気持ちにさせる」、「副作用がない」、「抗鬱剤の常用よりやる気が出る」、「適度な身体的・精神的疲労が睡眠を誘発し、入眠剤や睡眠剤が不要となる」といった副次的かつ心理的な効果も多数報告されている。運動が慢性ストレス症候群の精神的、肉体的な生理機能の改善に対して、非常に大きな効果をもたらすことは疑いのない事実であり、メンタルヘルス改善に対してさらに積極的な運動処方が行われる必要が臨床医学の側面からも期待されている。

一方で、運動は「疲労」、「筋損傷」、「過度の交感神経緊張状態」、等も同時に引き起こす可能性があり、必ずしもメンタルヘルスの改善に対して好ましい効果のみをもたらすとは断定できない。従って、慢性ストレス症候群の自律神経機能改善に対する運動療法には、通常健康人に対する運動処方にも増して慎重な配慮が要求される。我々は、慢性ストレス状態にあるヒト及び実験動物を対象とした研究に着手し、慢性ストレス症候群のメンタルヘルス改善のための運動処方プログラムを開発し、その一部を実践して高い効果を上げている。

近年、「慢性ストレス症候群」のメンタルヘルスの変調の要因は脳神経細胞の構造かつ機能的変化に依存する可能性が報告されている。様々な、ホルモンやサイトカイン（CRF、ACTH、コルチゾール、IL-6、活性型TGF- β 3、TNF- α 、等）の物質の蓄積が脳の疲労を促進し、結果的にメンタルヘルスの変調を引き起こすことが報告されており、メンタルヘルスの変調が高次脳機能の質的・量的変化に依存する可能性を示唆する極めて貴重な報告である。しかし、「慢性ストレス症候群」のメンタルヘルス改善に大きな効果が期待される運動の影響を、脳神経細胞の構造・

機能的変化の分子・細胞レベルで検討し、運動に伴う自律神経機能の改善との関連を検討した研究は世界に例をみない。

2. 研究の目的

本研究では、長期間の運動トレーニング及び一過性の運動が「脳神経系並びに自律神経系の構造・機能変化に及ぼす影響」を細胞レベルから全身応答に至るまで多角的に検討し、運動に伴う「慢性ストレス症候群」及び「慢性疲労症候群」のメンタルヘルス改善のメカニズムを分子・細胞レベルで明らかにすることに加え、得られた研究成果を基に「メンタルヘルス改善のための運動処方プログラム開発」に応用可能な新たな研究技術・手法の開発を目的とした。

3. 研究の方法

モデル動物を対象とした実験方法

(1) 大脳皮質運動野、海馬、小脳の神経細胞における Ca^{2+} チャンネルの構造・機能的特性の解析

我々が作製した慢性ストレスモデル動物に長期間の走行トレーニング（自発走・強制走）を行なわせ、トレーニング効果が認められた（骨格筋・心臓の肥大で確認）動物の大脳皮質一次運動野、海馬及び小脳のニューロン及び Ca^{2+} チャンネルの微細形態の変化を電子顕微鏡、共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡、等を用いて観察する。本研究では、動物用のトレッドミルもしくは自発的運動装置（加圧式負荷回転車輪）を用いて走行トレーニングを行わせる。ラットに走行トレーニングを行わせた場合、トレーニング効果が出現するには少なくとも3~4ヶ月間のトレーニング期間が必要である。トレーニング終了後、大脳皮質運動野、海馬及び小脳を摘出し、 Ca^{2+} チャンネル及びその他の神経細胞内微細器官の構造、形態的特徴を電子顕微鏡（JEM-2000EX, JEOL, Japan）及び共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡（CLSM, TCS SP2 AOBIS, Leica, Germany）、等を用いて観察する。

(2) 運動刺激に伴う慢性ストレスモデル動物の自律神経機能変化のフラクレット解析

慢性ストレスモデル動物を対象として、運動の種類や強度、時間の差異による交感神経系の機能（促進・抑制）を測定し、交感神経の活動亢進や抑制が骨量及び骨組織細胞に及ぼす影響を検討する。モデル動物に走行運動や機械的振動運動を行わせ、種々の運動強度や時間を設定する。運動前、運動中、運動

後の心電図を5分以上記録して、アナログ/デジタル変換した後、心電図R波を検出してR-R間隔の変動を計測する。これら計測データについて心拍変動周波数解析（フラクレット解析）を行い、低周波数成分及び高周波数成分を抽出し、交感神経及び副交感神経活動の振る舞いを観察する。また、非観血的連続血圧測定を行い、収縮期血圧変動から低周波数成分の区分積分値を求め、交感神経活動の指標とする。

ヒトを対象とした実験方法

(1) 長期的及び一過性の身体運動が脳の構造及び情動機能に与える影響

40名の中年男性（40～60歳）を被験者として実験を行う。対象被験者を運動継続年数あるいは継続的な運動経験の有無により2群に分類し、脳構造を比較する。脳構造の変化はMRI（Magnetom Symphony, Siemens, Germany）を用いて測定する。脳形態は各個人において異なるため、Voxel Based Morphometry（VBM）という方法を用いて脳の形態を統一（標準化）する。標準化しても脳画像には各被験者の脳領域の神経細胞濃度や体積の情報が保存されたため、被験者間で共通した脳領域の灰白質及び白質容量、密度の計測が可能である。

(2) 一過性の運動が脳内セロトニン受容体発現に及ぼす影響

若年被験者（20～25歳）を被験者とする。運動時における大脳基底核領域のセロトニン（情動ホルモン）受容体濃度をPET（SET2400, Shimazu, Japan）と[11C] N-methylspiperone（メチルスピペロン）を用いて測定する。我々の研究によって一過性の運動時に大脳基底核のエネルギー代謝が亢進することが明らかになっている。本研究の結果、エネルギー代謝の亢進がセロトニン神経の活動を反映していることが明らかになれば、運動により情動が変化するメカニズムの直接的な証拠となる。

(3) 近赤外分光装置（NIRS）を用いた脳神経活動に伴う酸素代謝変化の測定

身体運動に伴い大脳皮質一次運動野の脳酸素代謝に変化が生じることがNIRSを用いた測定から報告されている。本研究では、有酸素運動が精神的疲労に及ぼす効果を脳局所脳酸素動態の変化から検討する。10名の成人女性を対象として、2度のUchida-Kraepelinテスト（UKT）を実施する。1回目と2回目のテストの間の休憩時間に有酸素運動を行

わせ、精神的疲労に対する運動の影響を検討する。UKTは標準化された単純な足し算を15分間行い、5分間の休憩後、再度UKTを15分間行う。運動負荷として最大酸素摂取量の35～60%の強度による自転車エルゴメータ運動を、1回目のUKT終了30秒後より4分間行わせ、運動終了30秒後より2回目のUKTを行う。1分間毎にスコアを算出し、2回目のテストのスコアの低下率から精神疲労の程度を評価する。UKT並びに有酸素運動実施中に、NIRS（浜松フォトンクス社製NIRO200）のプロープを左前頭部及び一次運動野の2ヶ所に装着し、酸素化Hb、脱酸素化Hb及び総Hbの変化を経時的に測定する。

(4) 慢性ストレス負荷によるバイオマーカーの変化とストレス耐性個人差に関わる遺伝子探索

長時間の過密労働を模擬した17日間の産業タスク負荷と連続的軽度睡眠短縮による介入実験を実施し、日中の模擬精神労働中と夜間の睡眠時に各種の生理・生化学応答を計測する。17日間の内、10日間は1日5時間の軽度睡眠短縮を実施するストレス介入期間とし、残りの7日間を通常の睡眠を取らせる回復期とする。生理機能については、脳波、近赤外分光装置（NIRS）による脳局所エネルギー代謝、心拍・血圧変動解析による自律神経活動、脈波解析装置による動脈硬化指数並びに血管内皮機能、等を測定する。心理検査として、ハミルトンの鬱尺度、パフォーマンスステータス、コンピュータータスクパフォーマンスを評価する。実験期間中に4回の採血を行い、バイオマーカーの評価に加えて、慢性ストレス症候群や慢性疲労（感）と関連すると報告されているホルモンやサイトカイン（CRF、ACTH、コルチゾール、IL-6、活性型TGF-β3、TNF-α、アルブミン、トリプトファン、セロトニン、等）濃度を分析し、その組み合わせ（ハプロタイプ）についても検討する。本研究では、ストレス介入実験に対する生理・生化学的反応や心理指標・作業パフォーマンス低下の個人差に関連する遺伝子多型（IL-6-C-174G、TGF-β3-cdn25/G、TNF-α-238/G、ACTH receptor-chromosome 21q22.1、セロトニン受容体、セロトニン・トランスポーター、ドーパミン受容体、ドーパミン・トランスポーター、HSP、等）についても検討を加える。

(5) 長期運動トレーニングが脳内セロトニン受容体発現に与える影響

長期間の身体トレーニング及び一過性の運動が、(1) 成長期の児童・生徒の脳の発育に及ぼす影響、(2) 中年層の脳内セロトニン

受容体発現に及ぼす影響を PET 及び fMRI を用いて検討する。研究 (1) では中学生 (13~15 歳) 及び高校生 (16~18 歳) の各 40 名を対象被験者とする。被験者を日常の運動習慣の有無により 2 群に分けて脳形態を比較する。定期的な運動習慣が異なる 2 群を比較することにより、運動経験の差が脳形態、特に記憶・情動領域の形態に及ぼす影響を検討する。研究 (2) については、中年被験者 (40~60 歳) を被験者とし、一過性の運動時における大脳基底核領域のセロトニン受容体濃度を PET 並びにメチルスピペロンを用いて測定する。一過性の運動として、最大酸素摂取量の 60% の強度で、60 分間の連続エルゴメーター運動を実施する。両群の研究結果を比較し、運動に伴う大脳基底核ホルモン受容機能の加齢変化や情動に対する加齢の影響について考察を加える。

4. 研究成果

モデル動物を対象とした研究成果

(1) 交感神経活動の骨組織や骨格筋への影響を組織細胞レベルで検討した。高血圧自然発症ラット (SHR) 及び対象ラットを用いて、骨格筋及び骨組織構造の質的相違並びに量的構造的変化について検討した。対象群に比較して SHR ラットでは心拍数、血圧が有意に高く高血圧を発症しており、フラクレット解析により交感神経亢進状態の傾向を有した。また、筋湿重量、骨梁面積、類骨幅、骨量面積当たりの類骨面積は有意に小さいことが認められた。自然発症高血圧は骨量低下を引き起こすことが示唆され、骨梁構造や骨形成に負の影響があることが推察された。またこれらの SHR ラットにβ遮断薬を投与もしくはモデレートな運動を負荷することで骨量の増加、骨芽細胞の活性を呈した。以上の結果から、交感神経を介した骨量の調節機能があるものと示唆され、適度な運動の骨量維持改善に対する効果は、メカニカルストレスや液性因子に加え、神経性にもアプローチしうる可能性を有した。

(2) ストレスに対する生体反応の分子メカニズムを解明するために、雄性 C57BL/6 マウスを用いて、拘束モデル (下肢ギプス固定) と筋損傷モデルを確立し、筋萎縮及び筋再生の分子マーカーの遺伝子発現について検討した。11 週齢の雄性 C57BL/6 マウス (n=38) の下肢全体に 0、1、3、7、14、21 日間のギプス固定を実施し、ヒラメ筋 (遅筋) と足底筋 (速筋) における 2 種類の筋特異的ユビキチンリガーゼ (Atrogin-1/MAFbx と MuRF1) の遺伝子発現を Real-time PCR 法にて検討した。21 日間のギプス固定により、ヒラメ筋と

足底筋とも約 35% の筋重量低下を示し、同程度の筋萎縮が認められた。足底筋における Atrogin-1/MAFbx 及び MuRF1 遺伝子の発現量は、不活動 1、3、7 日目においてコントロールに比較して高値を示し、さらにヒラメ筋の値より高値を示した。これらの結果は、同程度の筋萎縮が認められたにも関わらず、不活動性ストレスに伴う筋タンパク質分解における筋特異的ユビキチンリガーゼの関与が筋線維タイプ別に異なることを示唆するものである。更に、若年期 (2 ヶ月齢、n=27) 及び高齢期 (28 ヶ月齢、n=24) の雄性 C57BL/6 マウスにカルディオトキシンを投与し、筋損傷及び筋再生に関する炎症マーカーの遺伝子発現について検討を行った。高齢期骨格筋では、損傷 3 日後に炎症性サイトカイン (IL-6) の発現が若年期に比較して高いレベルであった。骨格筋は本来、再生能力の高い組織であるが、その再生能力は加齢により失われていくことが知られている。本研究の結果は、筋損傷後の回復・再生過程における生体反応、特に炎症作用が、加齢に伴い変化することを示唆するものである。

ヒトを対象とした研究成果

(1) 精神的ストレス負荷として用いた計算課題の前に低強度運動を行い、計算課題中の前頭前野及び一次運動野血流量に及ぼす運動の影響について検討した。健康な女子大学生 10 名を対象として、安静プロトコール (C 群) 及び運動プロトコール (E 群) の 2 種類の測定を行った。仰臥位で 15 分間の安静の後、C 群は座位での安静 20 分、計算課題 15 分の後、座位で 5 分間の安静とした。E 群は、自転車エルゴメーター上で座位安静 5 分、40% VO₂max 強度で 9 分、引き続いて 0w で 1 分運動した後、椅子へ移動し座位安静 10 分、計算課題 15 分、座位安静 5 分とした。計算課題は隣り合わせの一枚の数字を加算し、1 の位の数字をできるだけ速く書き込んでいく形式とした。国際 10-20 法に基づき、前頭前野は前頭葉前額部左側 Fp 1、一次運動野は頭頂 C2 から左耳介前点方向へ 5% の位置に近赤外分光装置のプローブを装着し、酸素化 Hb 濃度の変化より脳血流動態を評価した。前頭前野において、計算開始後、酸素化 Hb 濃度は E 群及び C 群で共に有意 (p<0.05) に増加したが、両群間に有意な差は認められなかった。一次運動野においては、計算課題中、両群共に血流量が有意に増加し、計算課題直前及び計算課題開始 1 分目において C 群に比較して、E 群では有意に高値を示した (p<0.05)。計算課題解答数は最初の 5 分間で、C 群に比較して E 群で有意に高値であったことから、直前の運動により増加した一次運動野血流量が解答速度を増加させる可能性が

示唆された。計算課題中、前頭前野及び一次運動野の血流量は共に増加した。計算課題前の運動により、計算課題解答数及び一次運動野血流量が有意に高値を示し、運動は短時間のテストにおいて解答数を増加させる可能性があることが示唆された。

(2) 交感神経や副交感神経で構成される自律神経の活動は、心理的ストレスやメンタルヘルスと関連しているだけでなく、循環器疾患の発症とも関連していることが知られている。2METs 程度の弱い身体運動である 30 分程度の静的な柔軟性運動により、一過性に自律神経活動を副交感神経優位に導くことや、脳波の α 波増加が誘発されることを示した。習慣的なストレッチングやヨガなどの柔軟性運動と自律神経の働き、更に循環器疾患のリスクファクターである血圧並びに動脈ステイフネスとの関連を横断的に検討した。526 人の健康な成人を対象とし、柔軟性と自律神経活動、並びに血圧と動脈ステイフネスとの関連について検討した。40 歳未満の若年者では、柔軟性は自律神経活動、血圧、動脈ステイフネスには有意な関連が見られなかった。しかし、40 歳以上 59 歳未満の中年者では、柔軟性は交感神経活動、血圧、動脈ステイフネスとの間に、負の有意な関係が観察された。60 歳以上の高齢者では更に強い負の相関関係が認められた。この結果を基に、3 ヶ月間の柔軟性運動介入を 10 名の被験者に実施させたところ、交感神経活動、収縮期血圧、動脈ステイフネスとも有意に低下した。以上の結果から、筋や腱が柔らかい、すなわち身体を柔軟に保つことは、自律神経を副交感神経活動優位に保ち、血圧や動脈ステイフネスを低く保つことと関連する可能性が考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① 田巻弘之, 北田耕司, 桐本光, 與谷謙吾, 荻田 太, 竹倉宏明, 芝山秀太郎 (2006) 筋活動様式の違いが翌日の静的仕事に及ぼす影響. 生理人類学雑誌, 11, 19-24. 査読有
- ② Sheridan, D.C., Takekura, H., Franzini-Armstrong, C., Beam, K.G., Allen, P.D., Perez, C.F. (2006) Bidirect signaling between calcium channels of skeletal muscle requires multiple direct and indirect interactions. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 103, 19760-19765. 査読有
- ③ Kawano, H., Tanaka, H., Miyachi, M. (2006) Resistance training and arterial

compliance: keeping the benefits while minimizing the stiffening. J. Hyperten., 24, 1753-1759. 査読有

- ④ Hayashi, K., Miyachi, M., Seno, N., Takahashi, K., Yamazaki, K., Sugawara, J., Yokoi, T., Onodera, S., Mesaki, N. (2006) Fluctuations in carotid arterial distensibility during the menstrual cycle do not influence cardiovagal baroreflex sensitivity. Acta Physiol, 86, 103-110. 査読有
 - ⑤ Kawano, H., Tanimoto, M., Yamamoto, K., Sanada, K., Gando, Y., Tabata, I., Higuchi, M., Miyachi, M. (2008) Resistance training in men is associated with increased arterial stiffness and blood pressure but does not adversely affect endothelial function as measured by arterial reactivity to the cold pressor test. Exp. Physiol., 93, 296-302. 査読有
 - ⑥ Gondoh, H., Sensui, H., Kinomura, S., Fukuda, H., Fujimoto, T., Masud, M., Nagamatsu, T., Tamaki, H., Takekura, H. (2009) Effects of aerobic exercise training on brain structure and psychological well-being in young adults. J. Sports Med. Phys. Fitn., 49, 129-135. 査読有
 - ⑦ Gondoh, Y., Tashiro, M., Itoh, M., Masud, M.M., Sensui, H., Watanuki, S., Ishi, K., Takekura, H., Nagatomi, R., Fujimoto, T. (2009) Evaluation of individual skeletal muscle activity by glucose uptake during pedaling exercise at different workloads using positron emission tomography. J. Appl. Physiol., 107, 599-604. 査読有
 - ⑧ Miyatani, M., Masani, K., Oh, P.I., Miyachi, M., Popovic, M.R., Craven, B.C. (2009) Pulse wave velocity for assessment of arterial stiffness among people with spinal cord injury: a pilot study. J. Spinal Cord. Med., 32, 72-78. 査読有
 - ⑨ Yamamoto, K., Kawano, H., Gando, Y., Iemitsu, M., Murakami, H., Sanada, K., Tanimoto, M., Ohmori, Y., Higuchi, M., Tabata, I., Miyachi, M. (2009) Poor trunk flexibility is associated with arterial stiffening. Am. J. Physiol., Heart Circ Physiol., 297, H1314-1318. 査読有
 - ⑩ Fujimoto, E., Machida, S., Higuchi, M., Tabata I. (2010) Effects of nonexhaustive bouts of high-intensity intermittent swimming training on GLUT-4 expression in rat skeletal muscle. J. Physiol. Sci., 60, 95-101. 査読有
- [学会発表] (計 10 件)
- ① Fujimoto, T., Sensui, H., Takekura, H., Gondo, Y., Ono, Y., Ogawa, S., Kikuchi, J.,

- Kinomura, S., Tashiro, M., Itoh, M., Nagamatsu, T., Nagatomi, R. (2006) The relation between hippocampal structure and psychological well-being in exercising and non-exercising students. 11th ECSS, Lausanne, Switzerland.
- ② 藤本敏彦, 永松俊哉, 泉水弘臣, 菊地次郎, 小川静香, 石井賢治, 千葉登, 永富良一, 権藤雄一, 竹倉宏明 (2007) PETを用いた高強度運動後の脳内セロトニン神経活動の観察. 体力科学 56, 585.
- ③ 権藤雄一, 泉水弘臣, 藤本敏彦, 永松俊哉, 竹倉宏明 (2007) 有酸素トレーニングによる脳構造と精神的健康度への影響. 体力科学, 56, 582.
- ④ Yamamoto, K., Kawano, H., Gando, Y., Sanada, K., Tanimoto, M., Oh, T., Ohmori, Y., Higuchi, M., Tabata, I., Miyachi, M. (2007) Poor flexibility is associated with arterial stiffening. 54th ACSM, New Orleans, Louisiana, USA.
- ⑤ Gando, Y., Miyachi, M., Kawano, H., Sanada, K., Yamamoto, K., Tanimoto, M., Oh, T., Ohmori, Y., Miyatani, M., Usui, C., Takahashi, E., Tabata, I., Higuchi, M. (2007) Greater age-related arterial stiffening and left ventricular hypertrophy in poor cardiorespiratory fitness women. 54th ACSM, New Orleans, Louisiana, USA.
- ⑥ Machida, S. (2007) Regeneration of aging skeletal muscle is associated with impaired inflammation and increased adipogenesis, 12th ECSS, JSPFSM Exchange Symposium, Jyväskylä, Finland.
- ⑦ 権藤雄一, 泉水宏臣, 藤本敏彦, 永松俊哉, 竹倉宏明 (2008) 若年者における有酸素能力と脳構造の関係. 体力科学, 57, 636.
- ⑧ 佐古隆之, 竹倉宏明, 芝山秀太郎 (2008) 計算課題中の前頭葉前額部血流動態に及ぼす短時間低強度運動の影響. 体力科学, 57, 711.
- ⑨ 佐古隆之, 竹倉宏明 (2009) 短時間低強度運動が計算作業量および脳血流動態に及ぼす影響. 体力科学, 58, 953.
- ⑩ 與谷謙吾, 坂下一平, 行方功史, 河原一仁, 幸 篤武, 北田耕司, 桐本 光, 田巻弘之, 荻田太, 竹倉宏明 (2009) 経頭蓋磁気刺激を用いた視覚 - 運動関連時間の同定と反応トレーニングの効果. 体力科学, 58, 915.
- [図書] (計3件)
- ① Masud, M., Fujimoto, T., Tashiro, M., Miyake, M., Watanuki, S., Itoh, M. (2007) Homeostatic control of whole-body energy metabolism by exercise: A positron

emission tomography study. Esashi, M., et al. (eds) Future medical engineering based on bionanotechnology. Imperial College Press, 761-769.

- ② 町田修一 (2008) サルコペニアモデル動物の評価, 老化・老年病研究のための動物実験ガイドブック. 日本基礎老化学会編, アドスリー, 202-210.
- ③ 竹倉宏明, 秋元良太 (2009) 筋細胞内情報伝達機構. 宮村実晴編集, 身体トレーニング, 真興交易医書出版部, 102-109.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

芝山秀太郎 (SHIBAYAMA HIDETARO)
鹿屋体育大学・名誉教授
研究者番号: 00162644

(2) 研究分担者

竹倉宏明 (TAKEKURA HIROAKI)
鹿屋体育大学・体育学部・教授
研究者番号: 00206963

研究分担者

田巻弘之 (TAMAKI HIROYUKI)
鹿屋体育大学・体育学部・准教授
研究者番号: 40253926

研究分担者

宮地元彦 (MIYACHI MOTOHIKO)
国立栄養・健康研究所・運動ガイドラインプロジェクト・プロジェクトリーダー
研究者番号: 60229870

研究分担者

町田修一 (MACHIDA SYUICHI)
東海大学・体育学部・准教授
研究者番号: 40421226

研究分担者

藤本敏彦 (FUJIMOTO TOSHIHIKO)
東北大学・高等教育開発推進センター・講師
研究者番号: 00229048

研究分担者

佐古隆之 (SAKO TAKAYUKI)
日本女子大学・家政学部・講師
研究者番号: 20339477