

騎乗型訓練機による脳活性化と認知課題の学習促進

Brain Activation and Improvement of Cognitive Performance by Exercises on Horse-Back Riding Simulator

中野 紀夫* · 三原 泉* · 乾 景太* · 今井 文吾* · 道盛 章弘** · 萩原 啓***
Toshio Nakano · Izumi Mihara · Keita Inui · Bungo Imai · Akihiro Michimori · Hiroshi Hagiwara

騎乗型訓練機による運動中は脳活動が前頭部や頭頂部で活性化することを、赤外線スペクトロスコピー法 (fNIRS) を用いて明らかにした。さらに、1日30分、週3回、12週間の運動強度を増やす訓練群と運動スキルを要求する訓練群とを分けて高齢者の敏捷性や認知学習に対する促進効果を比較検討した結果、敏捷性は運動強度を増やす訓練でのみ向上がみられた。一方、認知課題のうち、ストループとN-バックは両群で向上し、数字記憶は運動スキルを要求する訓練でのみ向上がみられた。

Frontal and parietal regions of human brain activated during exercises on a horse-back riding simulator, measured by near-infrared spectroscopy (fNIRS) method. Thirty elderlies (63±4 years) engaged in training on the simulator of 30 minutes/day, 3 times/week, 12 weeks. The elderlies were assigned into two exercise groups: high-intensity group which exercise uses tilting seat and higher speed of the simulator, or high-skill group which exercise needs rhythmical movements of lower limbs. After the training, reaction time improved in high-intensity exercise group. Stroop test and N-back task improved in both groups. Memory task improved in high-skill exercise group.

1. ま え が き

日常生活における人の行動は、認知、判断、短期記憶など、脳の高次機能を伴う。人込みの中で他人にぶつかることなく移動したり、片付けたい用事を二つ三つ頭に留めながら順序よく家事をこなすといったことは、高齢者にとっても必要な動作であり、身体的体力とともに脳の高次機能の頑健さが求められる。脳の高次機能は加齢に伴って低下する傾向があるが、正常範囲を超えて低下が進むと介護やリハビリテーションが必要になって生活の質も大きく損なわれる。いわゆる認知症は発症後に有効な薬もなく、介護に多大な労力が掛かるため、健康なうちから予防や早期発見が重要である。

従来から、比較的運動強度の高い有酸素運動は、60～70歳にかけての加齢に伴う認知機能低下に対する抑制効果があることが示唆されている。たとえば Kramer らは、60歳から75歳の健康な高齢者124名を対象に6ヶ月間の運動介入を行った結果、有酸素運動を行った群において前頭葉の機能とされる実行制御機能 (executive control: プランニング, スケジューリング, 動作の抑制, 作業記憶)

の改善を確認している。このとき、対照群であるストレッチおよび筋力トレーニングを行った群では顕著な効果が得られなかったと報告している^{1), 2)}。また Lautenschlager らは、軽度認知障害 (MCI) と診断された地域高齢者170名を2群に分け、1群は自宅で週2回以上の運動を、もう1群は教育と一般的なケアを行った。18ヶ月間追跡調査の結果、運動群において臨床上用いられる認知症スコア (ADAS-cog, clinical dementia rating) の改善を確認している³⁾。

このように高齢者において脳の高次機能に対する運動の効果は年々エビデンスが蓄積されてきているが、多くは有酸素運動の意義を明らかにしたものであり、低負荷の運動やスキルを伴う運動の意義についてはまだ研究事例が少ない。また、運動の種別と脳機能に与える効果の関連についても知見は少なく、今後の重要な研究課題といえる。

近年、シートに騎乗した利用者がその揺動に対してバランスを取ることで、騎座位姿勢のまま身体の多くの部位で筋活動を自然に誘発できる騎乗型訓練機が実用化され⁴⁾、フィットネス器具として活用されている。

この器具では、座位であるため心拍数の過度な上昇を抑

* 電器事業本部 電器R & Dセンター Research & Development Center, Home Appliances Manufacturing Business Unit

** 電器事業本部 電器新事業開発センター New Business Development Center, Home Appliances Manufacturing Business Unit

*** 立命館大学 情報理工学部 College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

制することができる一方、姿勢維持のための反射的動作が一定量の筋活動を誘発する。また筋力が低下した高齢者や糖尿病患者に対する運動療法への適用も行われている⁵⁾。室内で会話をしたりTVを見ながら2~3 METs (ウォーキング程度)の運動が可能であり、高齢者にとって始めやすく続けやすい運動器具といえる。

騎乗型訓練機による筋力アップや柔軟性の向上など身体機能の改善についてはすでに多くの報告がある⁶⁾が、脳機能に与える影響についてはまだ報告が少ない⁷⁾。

脳機能の生体計測には、脳の神経活動そのものを測定する EEG (electro encephalography : 脳波測定) や MEG (magneto encephalography : 磁気脳造影) と、神経活動に伴う脳血流の変動を測定する PET (positron emission tomography : 陽電子放射断層撮影) や NIRS (near-infrared spectroscopy : 光脳機能測定) がある。これらのなかで、NIRS は空間分解能が高く自由な姿勢での測定が可能である。

以上の背景を考慮し、本稿では次の2点を課題とする。一つ目は騎乗型訓練機での揺動運動が脳皮質の活動をどのように変えさせているのか運動中の脳血流の変動を記録して検討すること、二つ目は運動の種類と効果の関連について調べることである。具体的には、騎乗型訓練機を用いて運動強度を増やす訓練と運動スキルを要求する訓練を実施し、高齢者の認知課題および敏捷性課題に与える効果を比較評価する。

2. 脳活性化効果

騎乗型訓練機での揺動運動が脳皮質の活動をどのように変えさせているのか、運動中の脳血流の変動を記録して検討する。

2.1 試験方法

被験者は、事前に書面による同意を得た健常な高齢者16名(年齢66±6歳:男性11名,女性5名)である。

脳活動の変化を評価するため、多点でのNIRSを実施する。測定装置および方法として島津製作所製のNIRStationによる赤外線スペクトロスコピー法(以下、fNIRSと記す)を用い、頭頂部および前頭部の酸素化ヘモグロビン濃度長変化(以下、oxyHbと記す)および脱酸素化ヘモグロビン濃度長変化(以下、deoxyHbと記す)を測定する。プローブ位置および測定チャンネル位置1~25(以下、Ch1~Ch25と記す)を図1に示す。これらは、国際10-20法のCzを中心とした頭頂部とその前方および前頭部左前方の計25チャンネルである。

被験者は騎乗型訓練機の騎乗訓練を2日間行った後、本試験を行う。この試験では、8分間騎乗型訓練機に騎乗した姿勢で条件を変えながらfNIRS測定を連続で行う。条件は、安静、認知課題、騎乗揺動、騎乗揺動+認知課題、の4種類であり、呈示する順序は被験者間でカウンタバラ

ンスを取る。安静では、騎乗型訓練機の揺動を止め、騎乗したまま安静姿勢を保つ。認知課題では、騎乗型訓練機の揺動を止め、騎乗したまま安静姿勢を保ちながら4分経過後に選択的注意課題を行う。騎乗揺動では、騎乗型訓練機を揺動させながらバランスを保つ。騎乗揺動+認知課題では、騎乗型訓練機を揺動させながら4分経過後に選択的注意課題を行う。

選択的注意課題は、スピーカから約2秒間隔で発せられる短い単語の音声を聞き、単語の内容に惑わされず男性の声と女性の声を聞き分けてスイッチを押すものである。

fNIRSによるoxyHbの測定データは、毎回開始時をゼロとして標準化を行う。次に測定前半の2分間(測定開始後1分30秒から3分30秒)t1、および測定後半の2分間(測定開始後4分30秒から6分30秒)t2の平均値をチャンネルごとに算出し、脳活動変化の有意差検定(t検定)を行う。

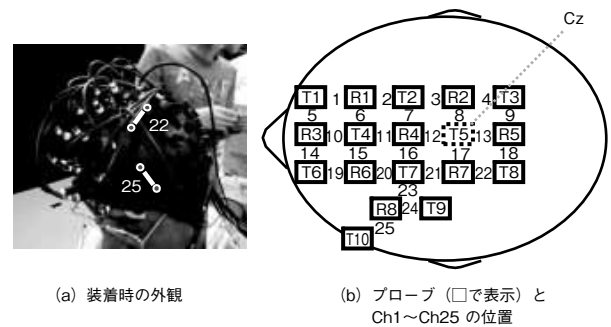


図1 fNIRSのセッティング

2.2 結果

fNIRSの測定例を図2に示す。なお、16名のうち4名のデータはノイズが混入したとみなし解析から除外している。この図のように、測定前半(t1)ではoxyHbが低く安定する傾向がみられ、測定後半(t2)では条件間に差がみられる。

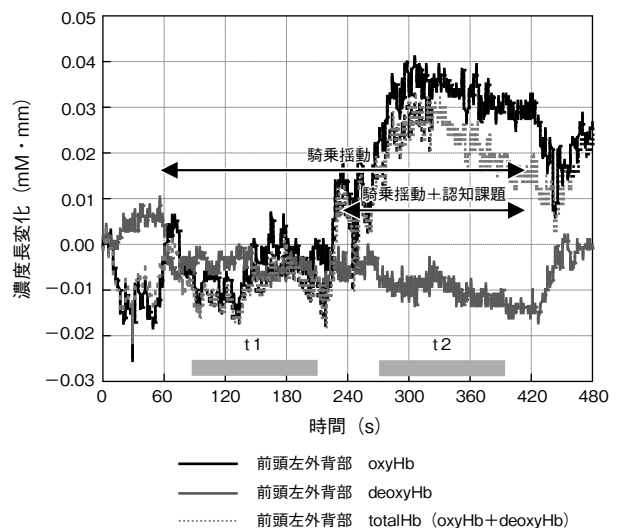


図2 fNIRS測定データの例(前頭左外背部: Ch25)

図3、図4に各条件のt2のoxyHb平均値を示す。安静、認知課題においてfNIRSの変化は少なく、初期値に対して有意な変化はみられない。騎乗揺動では、t2において頭頂部のoxyHbが増加傾向を示している。また騎乗揺動+認知課題では、前頭左外背部と頭頂部においてoxyHbが有意に増加している。

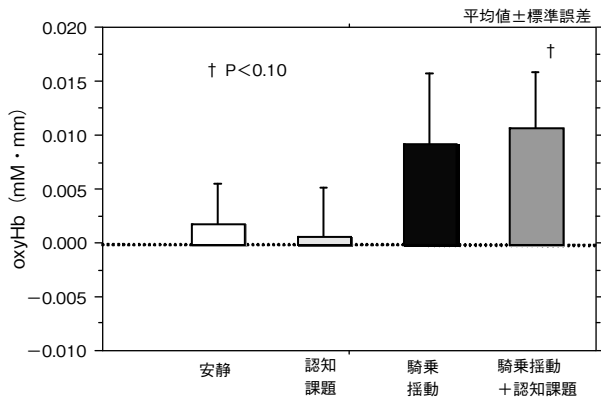


図3 頭頂部 (Ch22) のoxyHb変化 (t2)

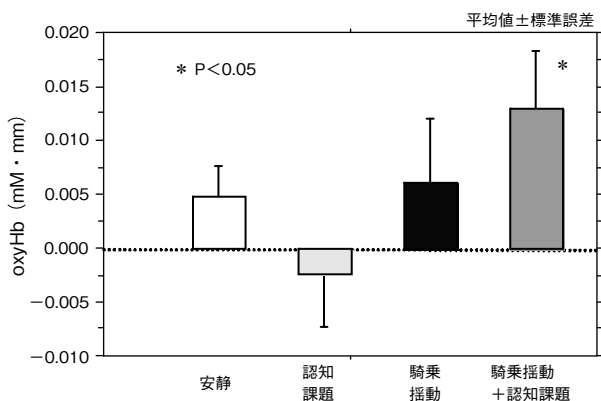


図4 前頭左外背部 (Ch25) のoxyHb変化 (t2)

2.3 考察

騎乗型訓練機での揺動運動中、oxyHbはいったん低いところで安定した後、開始数分後には前頭部や頭頂部において増加傾向を示す。この傾向は、揺動運動しながら同時に注意を配分する課題がある場合に増大する。これらのことは騎乗型訓練機による運動が前頭部や頭頂部の脳血流を変化させることを示している。

揺動運動は、身体重心の移動に伴う姿勢維持制御が必要となつて筋活動が誘発されることから、身体各部の深部感覚などの脳へ入力される感覚刺激が増加すると考えられる。また、頭頂部は脳の感覚野および運動野にあたるため、脳血流の変化は感覚刺激の増加や姿勢制御の活性化を反映しているものと考えられる。

3. 認知課題の学習促進効果

本章では、第二の課題である運動の種別と効果の関連について検討する。社内倫理委員会の承認を得、騎乗型訓練

機を用いて運動強度を増やす訓練と運動スキルを要求する訓練を実施し、高齢者の認知課題および敏捷性課題に与える効果を比較評価する。

3.1 試験方法

被験者は55～69歳の健康な女性30名で、事前にインフォームドコンセントを得ている。被験者は年齢、体重、BMIがバランスするようランダムに2群に振り分け、あぶみ付き騎乗型訓練機を用いて1回30分、週3回、12週間の訓練を実施する。一群は揺動しながらシートが傾斜する時間を長くし、体幹を積極的に訓練して運動強度を増やす体幹運動群15名(年齢:62.8±3.7歳、体重:52.1±8.3kg、BMI:22.1±3.7)である。もう一群はシート動作に合わせて足指の伸展・屈曲と膝の伸展・屈曲を行い、歩行のような運動スキルを要求するあぶみ体操併用群15名(年齢:62.7±3.5歳、体重:53.2±8.6kg、BMI:22.5±3.1)である。

体幹運動群では、揺動運動をしながら腹筋と背筋の訓練を意識してもらい、前傾時には腹筋に効くように上体を後方へ倒し、後傾時には上体を前方へ倒す。9週目以降は、物足りなければ腕も上げて体幹の訓練を行う。

あぶみ体操併用群では、揺動運動をしながら3週目以降、足指ぐうばあ動作(足指の伸展と屈曲)と左右交互動作(膝の伸展と屈曲)を追加する。最初は騎乗型訓練機の正回転時のみ、9週目以降は逆回転時にも導入する。あぶみ体操の例を図5に示す。



図5 あぶみ体操の例

12週間の訓練の前後で敏捷性課題(全身反応、PVT)と認知課題(ストループ、N-バック、数字記憶)の成績を比較する。また主観評価(VAS法:もの忘れする、他)の評定を行う。

全身反応は、3m前に設置されたランプが3色のうち特定の色に点灯したときすばやく両足を床から離す選択反応課題を約30回繰り返すもので、反応時間の測定には竹井機器社製の全身反応計Type-IIを使用する。

PVTは、画面に約3秒間隔で映し出される3種類の単純図形のうち、特定の標識図形が提示されたときに足マウスを右足でクリックし、その反応時間を測定するもので提示課題は(有)のるぷろライトシステムズ製のPVT Test Programを使用する。

ストループは、あか、あお、みどり、きいろ、のいずれかの文字が画面に提示されるが、その文言に惑わされずに文字の色を答える。これは前頭葉の機能の一つであり、抑制能力の検査である。

N-バックは、1桁の数字を数秒間隔で提示して三つ前に提示された数字と同じかどうかを判断し、正答率を評価する前頭葉の機能検査である。提示課題は(有)のるぷろライトシステムズ製のPerformance Test Programを使用する。

数字記憶は、画面に提示される20桁の数字列を30秒間で先頭から記憶し、口頭で再生する即時記憶の課題である。

3.2 結果

12週間の訓練前後での各尺度値の変化量 Δ を図6から図10に示す。

3.2.1 敏捷性課題

全身反応の結果を図6に、PVTの結果を図7に示す。体幹運動群では、全身反応時間の平均値(前0.46s→後0.44s)、PVT反応時間の平均値(前0.67s→後0.64s)がともに有意に向上している($p < 0.05$: paired-t test)。

一方、あぶみ体操併用群では、反応時間が短くなる傾向がみられるが、有意差ありまでには至っていない。

3.2.2 認知課題

ストループの結果を図8に、N-バックの結果を図9に、数字記憶の結果を図10に示す。

体幹運動群では、ストループ遂行時間の平均値(前163s→後150s)、N-バック正答率の平均値(前71.7%→後77.3%)とも有意に向上している($p < 0.05$: paired-t test)。またあぶみ体操併用群も、ストループ遂行時間の平均値(前155s→後138s)、N-バック正答率の平均値(前71.1%→後80.8%)とも有意に向上している($p < 0.05$: paired-t test)。図8、図9から12週間の訓練前後での向上度合は、あぶみ体操併用群のほうがやや高いことがわかる。

数字記憶については、体幹運動群において有意な変化はみられない。一方、あぶみ体操併用群では、記憶桁数の平均値(前7.0桁→後9.2桁)が有意に向上している($p < 0.05$: paired-t test)。また訓練前後の変化量については、体幹運動群とあぶみ体操併用群の間に有意な差がみられる($p < 0.05$: t test)。

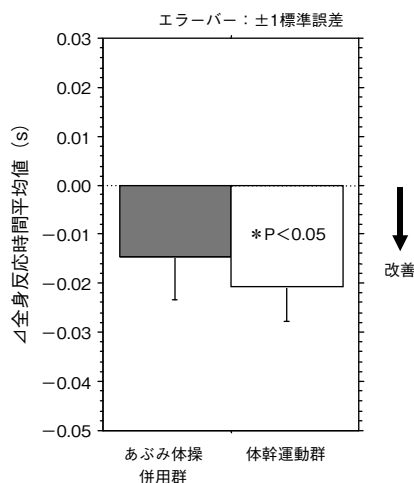


図6 全身反応の結果 (変化量)

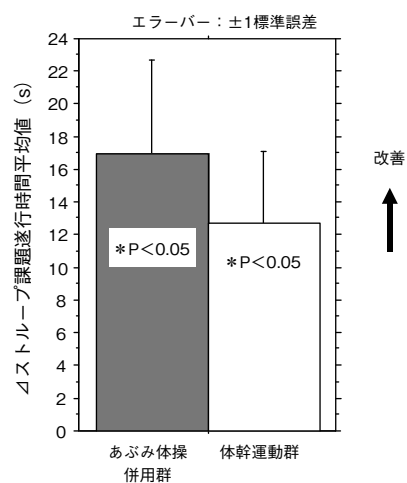


図8 ストループの結果 (変化量)

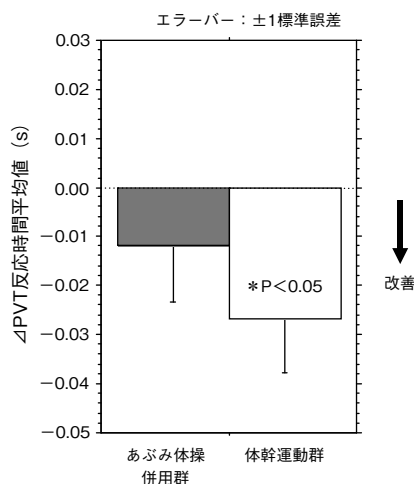


図7 PVTの結果 (変化量)

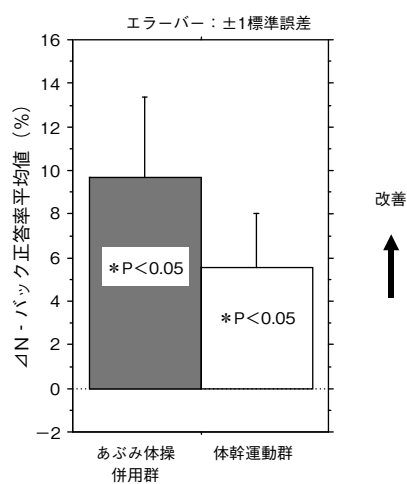


図9 N-バックの結果 (変化量)

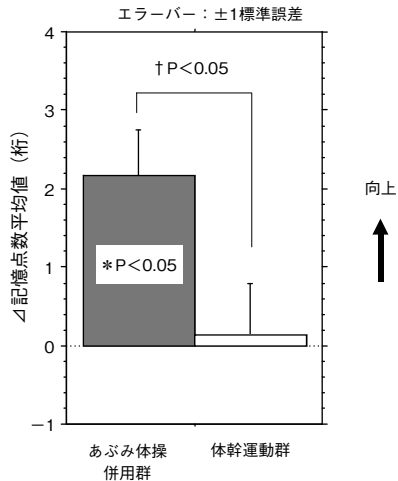


図10 数字記憶の結果(変化量)

3.2.3 主観評価

VAS法で定量化されたものの忘れに関する尺度値は、12週間の訓練前後で、体幹運動群 ($p < 0.05$, paired-t test) とあぶみ体操併用群 ($p < 0.01$, paired-t test) の両群において有意に改善している。

訓練前後の変化量について、数字記憶の成績ともの忘れに関する主観評価値との散布図を図11に示す。両者は有意な相関 ($r = 0.38$, $p < 0.05$) を示している。

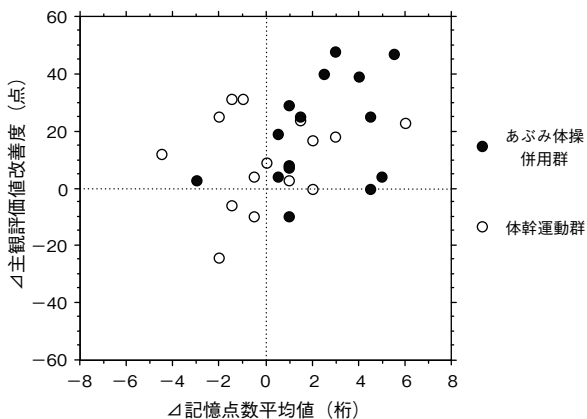


図11 数字記憶と主観評価値との相関(変化量)

4. 考察

評価結果から、騎乗型訓練機を用いた運動において、運動の種別によって効果にも違いが生じることがわかった。

敏捷性の向上には運動スキルを要求する訓練よりも運動強度を増やす訓練が有利であった。体幹運動群は、騎乗型訓練機を速度を上げて腹筋や背筋を意識させたことで大筋群への負荷が大きくなり、パワーやスピードを高める目的により適していると考えられる。その結果、スピードが大きく関与する反応課題で改善がみられやすい可能性がある。

一方、認知課題の成績向上には運動スキルを要求する訓練が相対的に有利であった。ストループとN-バックは両

群で向上したが、数字記憶課題ではあぶみ体操併用群のみに効果が確認され、群間に有意差がみられた。トレーニング中にあぶみ体操併用群の被験者からコメントを求めると、運動中に実感されるのは運動の激しさではなく、「騎乗型訓練機の動きに合わせて脚や足指を動かすのは結構難しい」といった動作の難しさであった。

2章で述べたように、騎乗型訓練機による揺動運動は、筋活動を誘発して脳への感覚入力を増加させることで、前頭部や頭頂部の脳活動の活性化に寄与する。また、揺動運動中は姿勢維持のために身体のバランスをとることが求められるので、騎乗しながらほかに身体動作や認知的操作を付加することで容易に運動の難易度を高め、脳への刺激を増やすことができる。騎乗型訓練機は脳機能の維持向上を目的とするトレーニングに適した運動器具であり、揺動運動しながら何らかの認知的負荷を加えることが効果的だといえる。

また即時記憶を評価する数字記憶の向上量と、もの忘れに関する主観評価の改善量との間に相関がみられたことは、評価尺度に現れた変化が被験者の実感とも合致していることを示唆しており、訓練の満足度につながる結果といえる。

これまで明らかでなかったスキルを伴う運動の意義として、高齢者に対する認知課題の学習促進に有利であるという可能性が示唆されたことは、運動指導士や理学療法士が高齢者向け運動プログラムを構成するうえで参考になるものと思われる。今後の課題としては、揺動運動中に行ったあぶみ体操運動のなかのどの要素がとくに脳活性や認知機能の改善に効いているかをfNIRSなどで分析することが挙げられる。

今回採用した認知課題の内容は前頭葉機能テストが主であり、なかでも注意力に関連する課題であった。脳の認知機能はきわめて幅が広いので、評価方法を広げる、あるいは臨床的評価項目を追加するといった課題が挙げられる。また12週間の訓練終了後の経過についても、追跡調査して効果持続の程度を確認することが臨床応用には重要であると考えられる。

5. あとがき

騎乗型訓練機による運動中は脳活動が前頭部や頭頂部で活性化することを、赤外線分光鏡法(fNIRS)を用いて明らかにした。さらに、1日30分、週3回、12週間の運動強度を増やす訓練群と運動スキルを要求する訓練群とを分けて高齢者の敏捷性や認知学習に対する促進効果を比較検討した結果、敏捷性は運動強度を増やす訓練でのみ向上がみられた。一方、認知課題のうち、ストループとN-バックは両群で向上し、数字記憶は運動スキルを要求する訓練でのみ向上がみられた。

本研究にあたって、指導いただいた畿央大学の森岡 周

教授に感謝の意を表します。

*参考文献

- 1) Kramer F., Hahn S., Cohen N. J., Banich M. T., McAuley E., Harrison C. R., Chason J., Vakil E., Bardell L., Boileau R. A. and Colcombe A. : Ageing, fitness and neurocognitive function., Nature, Vol. 400, p. 418-419 (1999)
- 2) Kramer F. : Exercise, cognition, and the aging brain, J. Appl. Physiol., Vol. 101, p. 1237-1242 (2006)
- 3) Lautenschlager N. T., Cox K. L., Flicker L., Foster J. K., van Bockxmeer F. M., Xiao J., Greenop K. R., Almeida O. P. : Effect of physical activity on cognitive function in older adults at risk for Alzheimer disease : a randomized trial, JAMA, Vol. 300, No. 9, p. 1027-1037 (2008)
- 4) Shinomiya Y., Wang S., Ishida K. and Kimura T. : Development and muscle strength training evaluation for horseback riding therapeutic equipment, J. Robotics and Mechatronics, Vol. 14, No. 6, p. 597-603 (2002)
- 5) Sato Y., Nagasaki M., Kubota M., Kiramura I., Tokudome M., Kajioka T., Shinomiya Y. and Ozawa T. : Passive exercise training improves insulin sensitivity in elder diabetic patients, Diabetes, Vol. 53, Supplement 2, A263 (2004)
- 6) 中野 紀夫, 白澤 直人, 三原 泉, 村松 悦司, 河本 実, 遠山 望 : 小型他動運動器具の運動方式とトレーニング効果, 松下電工技報, Vol. 56, No. 1, p. 11-18 (2008)
- 7) Nakano T., Fukao A., Hagiwara H., Imai B., Michimori A. : Cerebral hemodynamics during exercise on horse-back riding simulator by near-infrared spectroscopy and cognitive function, J. Physiological Sciences, Vol. 53, No. 59, Supplement 1, p. 359 (2009)

◆執筆者紹介



中野 紀夫
電器 R & D センター
博士 (工学)



三原 泉
電器 R & D センター



乾 景太
電器 R & D センター



今井 文吾
電器 R & D センター



道盛 章弘
電器新事業開発センター



萩原 啓
立命館大学 情報理工学部
博士 (医学)