

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学

## 「たくましい心を育むスポーツ科学イノベーション(BAMISプロジェクト)」の成果概要紹介 及び ヒューマン・ハイ・パフォーマンス(HHP)研究プロジェクトの開始について

筑波大学体育系では、平成 21 年度より 4 年間にわたって、文科省特別経費研究プロジェクト「たくましい心を育むスポーツ科学イノベーション」(Body-mind integrated Science, BAMIS)を展開してきました。このプロジェクトは、青少年の身心の活力低下問題に対処するため、武道や東洋の身体技法に内在する身体技法のエッセンスや豊かな環境が身心の統合を通じて活力を高める効果を、最先端の認知脳科学の導入と学融合から解明し、持続可能な運動プログラムの開発・応用を目指すものです。

具体的には、身近な軽運動が脳・精神機能への作用を通じて身心統合や活力増進を高める効果を検証する基礎研究と、東洋の身体技法に快適性を付与した身心統合運動プログラム(SPARTS, sports と arts の合成語。筑波大学商標登録第一号)を開発・応用・普及する実践研究から成っています。さらに、これらの研究成果を橋渡しし、スポーツ医学を柱に、認知脳科学や精神医学及び東洋的な身体文化の融合を試み、従来のスポーツ科学にはみられない学融合プログラムとして位置づけられます。

この度、本プロジェクトの終了にあたり、その総括ともいべき国際フォーラムを開催し、成果の一部を公表することになりました。(別紙参照)

また、本プロジェクトをさらに発展させるべく、平成 26 年度より 5 年間の文科省特別経費研究プロジェクトとして、新たに「ヒューマン・ハイ・パフォーマンスを実現する次世代健康スポーツ科学の国際研究教育拠点(HHP プロジェクト)」を開始いたします。

### BAMIS プロジェクトの研究成果のポイント

1. 動物では、乳酸閾値(50%強度)以下の歩行レベルの低強度運動で海馬が活性化し、グルタミン酸並びに NO(一酸化窒素)作動性に血管拡張が起こり、局所血流が増加することを証明しました。<sup>3)</sup>
2. 歩行運動を 2~4 週間行うと海馬歯状回に神経新生が起こり、認知機能が高まることを明らかにしました。これには、血中 IGF-I(インスリン様成長因子)、男性ホルモン、脳由来神経栄養因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF)による脳内作用をはじめ、多くのホルモンや成長因子が関与することが示唆されました。<sup>6), 7), 8)</sup>
3. 高強度運動を短時間、低容量で行っても、BDNF など海馬の神経新生が高まり、認知機能も向上することが明らかとなりました。<sup>4), 5)</sup>
4. 人では、運動時の気分を 8 項目で評価できる二次元気分尺度を開発しました。これにより、瞬時に人の気分のうち活性度や安定度を測定でき、快適な気分へと自己調整することが可能となりました。
5. 最大酸素摂取量の 30~50%程度の軽運動を 10 分間行うだけで、前頭前野背外側部(DLPFC)を活性化し、実行機能(注意、集中、判断力などの認知機能)が高まることを証明しました。この効果は、好きな音楽に併せて行い、快適度の増加に伴い高まることが確認されました。<sup>9), 10)</sup>
6. 陸前高田や大船渡、釜石など岩手県沿岸部の小学校の体力低下問題に対処すべく、2分間の音楽に乗せた短時間・高強度で快適度や安定度を高める効果をもつ体操を開発しました。カリキュラム内(始業前、業間、体育の時間など)に導入したところ、垂直跳びや立ち幅跳び、反復横とびなどの体力が 1 ヶ月程度で向上しました。<sup>11)</sup>

## 1 動物では:低強度運動による海馬の活性化

運動は脳にも作用し、気分を好転させる効果が知られています。しかし、その神経基盤はほとんど解明されてきませんでした。そこで動物用トレッドミルを用い、いろいろな速度でラットを走らせることで、運動が脳に及ぼす効果、特に学習・記憶に関わる海馬への短期・長期効果を検討しました。人の運動処方でも多く用いられる中強度運動(最大酸素摂取量の 50%程度)をラットでも再現し、それを基準とする運動強度を設定して効果を比較したところ、LT(lactate threshold、乳酸性閾値)以下の歩行運動でも海馬の神経が活性化することを局所血流応答から突き止めました。

脳の神経は活性化(細胞の興奮とシナプス伝達)すると、その神経に必要なエネルギーを満たすためブドウ糖や酸素が必要になることから、活動する神経に近い血管が拡張し、血流を増やすシステム(神経-血管連関と呼ばれる)が働きます。その際、NMDA 型(N-メチル-D-アスパラギン酸)受容体が神経活性を、NO が血管拡張を担うことも知られています。この神経血管連関が運動時に起こるかどうかを調べるために、微少なドップラープローブを海馬内に挿入し、近傍の局所血流変化から神経活性を評価しました。さらに、グルタミン酸作動性の神経伝達を阻害するNMDA 受容体拮抗薬(MK801)やNOの作用を阻害するLNAMEという薬物を海馬内に局所投与し、運動で増加する海馬の血流が、神経の活性に関係するかどうかを検討しました。その結果、1 時間の歩行中、海馬の局所血流は 25%程度増加すること、更に、この増加がMK801 投与やLNAME でほぼ完全に阻害されることから、神経の活性により生じていることが初めて明らかになりました。

## 2 軽運動で海馬を鍛える

最近、海馬の神経とりわけ歯状回では、生涯にわたり神経新生が起こり、その度合いが大きければ認知機能が高まること、逆に、慢性的なストレスやうつ病、加齢などで神経新生が低下し、海馬の萎縮や認知機能が低下すること明らかになってきました。そこで、2~6 週間の慢性的な運動適応モデルを作成し効果を検討したところ、2 週間で海馬神経新生が増加し、6 週間で認知機能が増加することを突き止めました。この神経基盤はいまだ不明ですが、カハール研究所(スペイン)との共同研究により、神経活動が高まった脳部位に、血液中のインスリン様成長因子(IGF-I)が取り込まれ作用する、分子メカニズムの一端を明らかにしました。これまで、多様な神経保護効果をもつ IGF-I が血液中から脳内に移行することは知られていましたが、血液と脳の間にはホルモンが自由に通過できない関所「血液脳関門」があり、IGF-I がここを実際に通過するかは不明でした。さらに、海馬の神経自体が男性ホルモンを合成し、それが神経新生を高めることを見いだしました。睾丸でつくられる男性ホルモンが海馬で作られることは東大の川戸らが既に明らかにし、神経伝達を担うことが示唆されていましたが、生理的意義は不明でした。この成果は、睾丸でつくられる男性ホルモンが無い状態でも運動すると男性ホルモンが海馬でつくられ、神経新生を促すことを初めて示したことになります。IGF-I や BDNF などの上位で働く可能性があることから、より重要な因子だと考えられます。

軽運動で海馬が活性化し、神経可塑性が高まり、認知機能が向上するとする一連の成果は、運動嫌いや低体力者はもちろん、認知症を懸念する人々にとって朗報となります。すでに厚労省の認知症予防プロジェクト利根町スタディで、楽しい軽運動プログラムで認知機能が高まる結果を得ており、これを支持する知見の一つといえそうです。

## 3 高強度インターバル運動で海馬を鍛える

最近、マクマスター大学(カナダ)の Gibala 教授らは、長時間・長距離を走らずとも、インターバルで十分な休養を取りながら短時間・高強度の運動トレーニングを行うと持久力が高まること、更にその効果は、糖尿病患者のインスリン感受性向上にも効くことを明らかにし、世界の注目を集めています(Gibala, 2008)。そこで、輪回し運動に体重の 30%に当たる負荷をかけた高強度インターバル運動をラットに行かせたところ、無負荷で2倍近く走るネズミに対して、負荷付きで走ったラットは走行距離が半分でも認知機能が高まり、その背景として神経新生も増加することが明らかとなりました。心臓血管系に問題がない場合は、糖尿病患者でも短時間で持久力を高め、認知機能の低下(糖尿病では海馬の機能低下が起こる)を改善できる可能性があります。

#### 4 気分尺度の開発

運動すると気分が壮快になる、すっきりするなど、体調だけでなく心の状態を好転させる効果があり、それが運動継続にも重要とされています。こうした気分の変化を正確に測る指標(二次元気分尺度)を開発し、特許を取得しました(第4378455、2009)。これは、緊張-鎮静、快-不快の二つの軸から成る二次元に基づいて抽出された8つの気分形容詞(イキイキした、落ち着いた、イライラした、だらけた、他)を組み合わせた計算式により、今の気分の状態をその場で評価して視覚化し、グラフ上に示すものです。これを用いることで、呼吸法やヨガ、軽運動などのボディワークでストレスを軽減し、快適な気分へと自己調整することが可能となりました。最近の研究で、運動はカロリー消費だけで捉えるものではなく、抗うつ薬のような気分を好転する効果が報告されていますが、この気分指標の活用により、さらに運動の短期効果を把握することができ、それを標的とした新しい運動プログラムの開発が可能となります。

#### 5 前頭葉の活性化と実行機能の向上

人の前頭葉とりわけ背外側前頭前野(DLPFC)は、注意、集中、判断能力など実効機能と呼ばれる認知機能を担う部位で重要です。最近、うつ病や認知症、注意欠陥障害(ADHD)や自閉症などで共通してこのDLPFCの機能低下が報告されています。そこで、fNIRS(近赤外分光分析法)を用いることにより、10分間の低～中強度運動が、この部位を活性化し、実効機能を高めることを見いだしました。また、この効果は、運動時に好きな音楽を聴きながら行うと、快適度の増加に応じて高まる(実効機能の向上とDLPFCの活性度の増加)ことがわかりました。

#### 6 東北復興支援:低強度運動による海馬の神経新生と認知機能の向上

こうした基礎研究をベースに、社会実装の一環として、東北被災地区の小学校の児童に SPARTS による運動介入効果を検証しています。2011 年以降、岩手県沿岸部、とりわけ陸前高田、大船渡、釜石などでは、文科省指定の体力項目の8割以上が男女ともに低下傾向にあります。校庭が仮設住宅で占拠され、バス通学や体育館の利用制限などによる運動環境劣化、さらに、慢性ストレスによる抑鬱傾向や肥満傾向なども指摘されており、これらへの対処は喫緊の課題となっています。この改善には軽運動あるいは高強度インターバル運動が効果的ですが、スペースや時間が限られており、短時間で効果をあげる運動プログラム開発が望まれます。そこで小学校児童に対して、2分間のテンポアップする音楽に乗せた、短時間で高強度の体操を、カリキュラム内(始業前、業間、体育の時間など)に導入することを試みました。低下傾向の顕著なパワー系を改善するために、8校で朝のスクワット体操(エドガーの「朝の挨拶」をリメイク)、5～6校でジャンプ体操(ゴセックの「ガボット」をアレンジ)やきびきび体操(独自に作成した音楽)を週2回程度、1～2ヶ月間実施しました。これらの体操を行うと、気分の構成要素のうち、活性度と安定度が高まることがわかっています。その結果、3～6年生の児童の垂直跳びや立ち幅跳び、反復横とびなどの体力値が有意に向上することが明らかになりました。たった2分程度の体操でも、テンポアップし、楽しくする音楽効果を利用したSPARTSは、子どもの体力向上に寄与すると考えられ、被災地だけでなく、グランドの狭い学校の子供達の身心の活力増進にも役立つ可能性があります。

震災から3年が経過し、パワー系だけでなく持久力の低下も顕在化しています。持久力は学力との相関も示唆されており、現在は、上述の成果をもとに、持久力の向上を目指した介入を検討しています。

#### HHP プロジェクトについて

BAMISプロジェクトの後継となる「ヒューマン・ハイ・パフォーマンスを実現する次世代健康スポーツ科学の国際研究教育拠点(HPPプロジェクト)」が、文科省特別経費に採択され、平成26年度より5年間の計画で新たにスタートします。

このプロジェクトでは、心身の活力を最大限に引き出す(ヒューマン・ハイ・パフォーマンス)ための基盤技術を開発・実装することを目的とし、筑波大学の健康・スポーツ科学研究拠点をベースに、最先端の生命・認知科学を導入するとともに、産官学研究機関と連携して、世界初の健康スポーツ科学研究教育拠点を構築することを目指します。また次世代健康スポーツ科学の学位プログラム(博士後期課程)を新設し、学内外の組織を横断した、課題対応型個別カリキュラムによる教育を行い、学術・実践・国際の3つの壁を越える次世代型研究者の養成に取り組みます。

HHP プロジェクトには、筑波大学の体育系・人間総合科学研究科・国際統合睡眠医科学研究機構・サイバニクス研究センター・生命領域学際研究センター・附属病院の他、国立スポーツ科学センター、鹿屋体育大学および韓国国立体育大学校が参加し、ヒューマン・ハイ・パフォーマンスの向上に重要な、運動・休養(睡眠)・栄養を一新する基盤技術開発に取り組みます。これらの研究成果は、アスリートのみならず、あらゆる人に対して健康的なライフスタイルを提案する基盤となるものと期待されます。

#### BAMIS プロジェクトの研究成果に関する論文

- 1) Sakairi Y, Nakatsuka K, Shimizu T:坂入洋佑, 征矢英昭:新しい感性指標・運動時の気分測定. **体育の科学**, 53: 845-850, 2003.
- 2) Okamoto M and Soya H. Mild exercise model for enhancement of hippocampal neurogenesis: A possible candidate for promotion of neurogenesis. **JPFMS**. 1, pp 585-594, 2012.
- 3) Nishijima T, Okamoto M, Matsui T, Kita I, and Soya H. Hippocampal functional hyperemia mediated by NMDA receptor/NO signaling in rats during mild exercise. **J Appl Physiol**, 112. 197-203, 2012.
- 4) Lee MC, Okamoto M, Liu YF, Inoue K, Matsui T, Nogami H, Soya H. Voluntary resistance running with short distance enhances spatial memory related to hippocampal BDNF signaling. **J Appl Physiol**, 113, pp 1260-1266, 2012.
- 5) Lee MC, Inoue K, Okamoto M, Liu YF, Matsui T, Yook JS, Soya H. et al.: Voluntary resistance running induces increased hippocampal neurogenesis in rats comparable to load-free running. **Neurosci Lett**, 537, pp 6-10, 2013.
- 6) Nishijima T, Piriz J, Duflot S, Fernandez AM, Gaitan G, Gomez-Pinedo U, Garcia Verdugo JM, Leroy F, Soya H, Nunes A, and Torres-Aleman I. Nishijima T: Neuronal Activity Drives Localized Blood-Brain-Barrier Transport of Serum Insulin-Like Growth Factor-I into the CNS. **Neuron**, 67:834-846, 2010.
- 7) Neuronal Activity Drives Localized Blood-Brain-Barrier Transport of Serum Insulin-like Growth Factor-I into the CNS. **Neuron**. 67:834-846, 2010.
- 8) Okamoto M, Hojo Y, Inoue K, Matsui T, Kawato S, McEwen BS, Soya H. Mild exercise increases dihydrotestosterone in hippocampus providing evidence for androgenic mediation of neurogenesis. **Proc Natl Acad Sci U S A**, 109, pp 13100-13105, 2012.
- 9) Yanagisawa H, Dan I, Tsuzuki D, Kato M, Okamoto M, Kyutoku Y, Soya H. Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. **Neuroimage**, 50, 1702-1710, 2010.
- 10) Hyodo K, Dan I, Suwabe K, Kyutoku Y, Yamada Y, Akahori M, Byun K, Kato M, Soya H. Acute moderate exercise enhances compensatory brain activation in older adults. **Neurobiol Aging**, 33. 2621-2632, 2012.
- 11) 菊池章人、岡出美則、坂入洋右、征矢英昭:東北被災地小学校への2分間垂直跳び体操支援の試み. 筑波大学体育系紀要(印刷中)。

#### 問い合わせ先

筑波大学 体育系 教授

征矢 英昭(そや ひであき)

〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

Tel: 029-853-2620

E-mail: hsoya@taiiku.tsukuba.ac.jp