
The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine (JPFMSM)

Official Journal of the Japanese Society of Physical Fitness and Sports Medicine

Volume 1, Number 1 May 2012

CONTENTS

Editorial Articles

Address for the newly-published English Journal

T. Yoshioka 1

Publication of the first issue of our journal in English: Message from the Editor-in-Chief of *The Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*

M. Suzuki 2

New official English publication for *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*: Message from the Editor-in-Chief of JPFMSM

K. Imaizumi 3

Review Articles

Effect of exercise on HIF-1 and VEGF signaling

H. Ohno, K. Shirato, T. Sakurai, J. Ogasawara,
Y. Sumitani, S. Sato, K. Imaizumi, H. Ishida and
T. Kizaki 5

Lifestyle-related disease and skeletal muscle: A review

A. Ishihara, F. Nagatomo, H. Fujino, H. Kondo and
K. Tsuda 17

Regulation of soleus muscle properties by mechanical stress and/or neural activity

F. Kawano, N. Nakai and Y. Ohira 29

Reflex modulation during rhythmic limb movements in humans

T. Komiyama and T. Nakajima 37

Myokines: Do they really exist?

Y. Manabe, S. Miyatake and M. Takagi 51

Metabolic Sensor for Low Intensity Exercise: Insights from AMPK α 1 Activation in Skeletal Muscle

T. Toyoda, T. Egawa and T. Hayashi 59

Exercise training based on individual physical fitness and interval walking training to prevent lifestyle-related dis- eases in middle-aged and older people

H. Nose, M. Morikawa, S. Masuki, K. Miyagawa,
Y. Kamijo and H. Gen-no 65

Exercise and thermoregulation

K. Nagashima, K. Tokizawa, Y. Uchida, M. Nakamura-
Matsuda and CH. Lin 73

Roles played by protein metabolism and myogenic pro- genitor cells in exercise-induced muscle hypertrophy and their relation to resistance training regimens

N. Ishii, R. Ogasawara, K. Kobayashi and
K. Nakazato 83

Structure and function of skeletal muscle and lomo- tive systems: Involvement of water-state transitions

S. Takemori and M. Kimura 95

Motor imagery and sport performance

N. Mizuguchi, H. Nakata, Y. Uchida and K. Kanosue 103

The effects of exercise on macrophage function

T. Kizaki, S. Sato, T. Sakurai, J. Ogasawara, K. Imaizumi,
T. Izawa, J. Nagasawa, D. Saitoh, S. Haga and H. Ohno 113

Heat stress-induced changes in skeletal muscle: Heat shock proteins and cell signaling transduction

H. Naito, T. Yoshihara, R. Kakigi, N. Ichinoseki-Sekine
and T. Tsuzuki 125

Short Review Articles

Exercise, nutrition and iron status

T. Fujii, T. Matsuo and K. Okamura 133

Effects of β_2 -agonists and exercise on β_2 -adrenergic re- ceptor signaling in skeletal muscles

S. Sato, K. Shirato, T. Kizaki, H. Ohno, K. Tachiyashiki
and K. Imaizumi 139

Effects of exercise on the hexosamine biosynthetic pathway and glycosylation

K. Shirato, T. Kizaki, H. Ohno and K. Imaizumi ····· 145

Skeletal muscle regeneration and muscle progenitor cells

N. Motohashi, MS. Alexander and LM. Kunkel ····· 151

Warm-up procedures to enhance dynamic muscular performance

N. Miyamoto ····· 155

The role of autophagy in skeletal muscle homeostasis

T. Ogata ····· 159

Regulatory mechanisms involved in blunting protein synthesis in working skeletal muscle

T. Murakami ····· 163

Regular Articles

Regular exercise history as a predictor of exercise in community-dwelling older Japanese people

R. Kozakai, F. Ando, HY. Kim, T. Rantanen and H. Shimokata ····· 167

Comparison of salivary antimicrobial peptides and upper respiratory tract infections in elite marathon runners and sedentary subjects

T. Usui, T. Yoshikawa, K. Orita, S. Ueda, Y. Katsura and S. Fujimoto ····· 175

Effects of different intensities of endurance exercise on oxidative stress and antioxidant capacity

M. Takahashi, K. Suzuki, H. Matoba, S. Sakamoto and S. Obara ····· 183

Correlation of self-reported physical activity with pulse wave velocity in male adolescents

H. Miura, S. Maruoka and M. Sugino ····· 191

Abstracts**The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine (JPFMS)
Vol. 1, No. 1 May 2012****Editorial Articles**

英文機関誌の発刊にあたって (p. 1)

日本体力医学会理事長

吉岡利忠(弘前学院大学学長)

2012年は、和文誌に加えて英文機関誌「JPFMS」発行という学会としては極めて記念すべき年になりました。JPFMSは本学会創立60周年記念事業の一環として企画され、このたび、皆様のお手元にお届け出来たことを大変嬉しく思っております。

本学会は当時の文部省および厚生省の幾つかの研究班が統合され、1949年に発足しましたが、日本では歴史の古い学術団体の一つです。本学会は日本医学会(これに属する学術団体は現在110あります)の第39分科会として登録されています。現在の会員数は5,200名です。

日本体力医学会の学術的研究分野は、生理学的研究として身体活動・スポーツにおける神経・感覚機能、呼吸・循環器機能、代謝、栄養・消化機能、加齢・性差、環境、トレーニング、バイオメカニクス、遺伝子などの研究があり、スポーツ医学的研究、リハビリテーション医学、スポーツ心理学など多岐にわたります。本学会の最終的な到達目標は、全世界の人々の健康保持・健康増進などに寄与することにあります。

毎年、年次大会が日本の各地で開催され、700題前後の一般演題の発表があります。今年の年次大会は岐阜市で開催され、来年は東京で開催が予定されています。

本学会機関誌の「体力科学」は年に6冊発行されており、本年は第61巻を数えますが、本誌には総説、原著論文、研究発表の抄録等が掲載されています。「体力科学」誌には日本語で書かれた論文の他に英語で書かれた論文も含まれていました。今後、本学会では各国のこのような分野を専門にしている研究者に対してJPFMSをお届けすることになります。4年後には隔月発行の予定であり、本学会のホームページには投稿規定等の情報が掲載されています。今後、多くの研究者がJPFMS誌に投稿され、会員の皆さまのご支援により内容がさらに充実し、飛躍することを期待いたします。

本学会英文機関誌創刊に際して：体力科学誌編集委員長からのメッセージ (p. 2)

日本体力医学会和文機関誌「体力科学」編集委員長

鈴木政登(東京慈恵会医科大学医学部教授)

この度、日本体力医学会機関誌の英文誌が平成24年5月25日付けで創刊されることになりました。JPFMS編集委員長・今泉和彦先生および編集委員のご尽力に感謝の意を表したいと思います。

本学会の第1回総会は1949年11月3、4日国立公衆衛生院で開催され、「体力科学」第1巻1号は1950年2月10日付けで発行されています。第1号には、理事長・東俊郎先生の「発刊のことば」に続き、編集委員長・浦本

政三郎先生の論説「体力科学序説」が掲載され、第1号には原著論文11編が掲載されております。現在の「体力科学」61巻2号に到る過程において、一度だけ英文雑誌が発刊されています。現在、創刊号から61巻2号まで、J-STAGEを利用していつでも閲覧できるようになっています。

本学会会員による研究業績を英語論文として世界に向けて発信したいという願望はこれまでもありました。英文誌と和文誌の双方を発行するだけの経済的基盤が十分にはありませんでした。しかし、2010年4月1日より「体力科学」のオンライン投稿システムが導入され、印刷された雑誌「体力科学」を必要としない会員が現れ、発刊費が節約できるようになりました。さらに、本学会の英文誌をオンライン上でのみ掲載することにすれば、経費が一層節約できるとの見通しが得られ、この度、英文機関誌発刊に踏み切りました。

この度、英文機関誌を創刊しましたが、これを定期的・持続的に発刊し続けて行く事は今後多大な苦難が伴うものと予想されます。この困難を乗り越えるには、英文誌編集委員会委員および本学会会員の献身的な支援無くしては成り立たないことは言うまでもありません。

おわりに、会員の皆様にはJPFMSへのご支援・ご協力を賜わるよう切にお願いし、JPFMS創刊のご挨拶と致します。

本学会英文機関誌発刊にあたって：JPFMS誌編集委員長からのメッセージ (p. 3)

日本体力医学会英文機関誌「JPFMS」編集委員長

今泉和彦(早稲田大学人間科学学術院教授)

この度、本学会が新たに刊行した英文機関誌(JPFMS)を会員諸賢にお届けすることができ、同慶の至りであります。この新しい英文機関誌は本学会創立60周年記念事業の一環として刊行され、特に健康科学・体力科学・スポーツ医学などに関わる基礎から応用までを広くカバーし、今後、JPFMS誌が国際誌として極めて重要な学術的役割を担うものと確信しています。

JPFMS誌は健康科学・体力科学・スポーツ医学に関わる科学的な理論・知識・アイデア・技術等の発展と普及について広く公開することを重視しています。JPFMS誌は上記学問領域の科学的知見を我が国のみならず、広く国際的な立場でこれら学問分野の新知見や多くの情報を提供すると共に、日本と世界の研究者間の架け橋となることも目標に置いています。JPFMS誌では大学院生や若手研究者に原著論文が投稿できるよう十分配慮し、研究者としての資質・能力向上のために貢献することを希求しております。

本編集委員会はこれらの学問分野の重要で本質的な課題を読者に提供するため、総説の出版をこれからも継続いたします。そのため、関連諸分野の総説の投稿を会員であるか否かに関係なく常時受け付けています。

ともあれ、長い旅はまず第一歩を進めること「随より始めよ！」が重要であります。新たに刊行したJPFISM誌でも同様であります。本英文誌の発展は、本学会のすべての構成員の熱意・情熱に大きく依存していることは論を俟ちません。本編集委員会はJPFISM誌が今後多くの研究者に利用され、併せて学術レベルの尚一層の向上のためにJPFISM誌が貢献できるよう期待しています。擲筆に当り、本会員諸賢がJPFISM誌に各種論文を積極的に投稿され、本学会に貢献されることを強く願っております。

Review Articles

運動の HIF-1 と VEGF シグナル伝達への影響 (p. 5-16)

¹杏林大学医学部衛生学公衆衛生学, ²早稲田大学人間科学学術院生体機能学, ³杏林大学医学部第3内科学

大野秀樹¹, 白土 健², 櫻井拓也¹, 小笠原準悦¹, 炭谷由計^{1,3}, 佐藤章悟^{1,2}, 今泉和彦², 石田 均³, 木崎節子¹

本総説は、主に骨格筋の低酸素誘導因子-1 (HIF-1) および血管内皮細胞増殖因子 (VEGF) シグナル伝達経路における、低酸素、酸化ストレス、とりわけ運動のようなさまざまな状態での重要性を記している文献をまとめたものである。HIF-1 α は、大部分のは乳動物細胞の低酸素応答に関係する遺伝子発現の主要調節因子として作用する。すなわち、HIF-1 α は HIF-1 β とヘテロダイマーを形成した後、血管新生、解糖作用、赤血球産生など種々の低酸素適応遺伝子の転写を開始させる。それらの遺伝子の中で、VEGFは最も強力な内皮特異的有糸分裂促進物質であり、内皮細胞を低酸素部分や無血管野に補充し、血管新生を亢進する。急性運動に関する研究は、ヒト骨格筋の酸素消費量の急激な変化に反応して、VEGFやエリスロポエチンを含むいくつかのHIF-1シグナル伝達経路構成分子が活性化されることを示している。それは、酸素感受性経路が血管新生の亢進によって身体活動に順応させることに関与していることを示唆する。同様に、低酸素状態下の運動トレーニングのヒト骨格筋HIFシグナル伝達経路活性に対する影響は、酸素正常状態のときよりも明らかに大きいようにみえる。これは、低酸素と運動トレーニングの相乗作用が、骨格筋酸素運搬あるいは代謝の諸相を改善することを意味している。一方、運動による活性酸素種 (ROS) の増加は、多様なタイプの細胞のミトコンドリア合成を調整するペルオキシソーム増殖因子活性化受容体- γ コアクチベーター 1 α (PGC-1 α) の発現を誘導する。その結果、VEGFの発現が増加して血管新生が生じる。これは、HIF-1 α を介さないVEGFと血管新生を調整する経路があることを強く示唆する。こうして、運動、VEGFを含むHIF-1シグナル伝達経路、PGC-1 α 、およびROSの正確な関連性については、今後の研究を待たなければならない。

生活習慣病と骨格筋 (p. 17-27)

¹京都大学大学院人間・環境学研究科細胞生物学・生命科学, ²神戸大学大学院保健学研究科運動機能障害, ³名古屋女子大学家政学部食物栄養学, ⁴京都大学大学院人間・環境学研究科代謝学

石原昭彦¹, 永友文子¹, 藤野英己², 近藤浩代³, 津田謹輔⁴

メタボリックシンドロームや2型糖尿病などの生活習慣病を発症する実験動物の骨格筋では、PGC-1 α の mRNA発現量の低下に関係して酸化能力の減少が認められる。運動を継続することによって、メタボリックシンドロームによる中性脂肪の増大や2型糖尿病による高血糖を改善することができる。さらに、運動量の多い実験動物ほど骨格筋で低下していた酸化能力やPGC-1 α の mRNA発現量の回復が顕著になる。一方、高脂肪食の摂取は、メタボリックシンドロームを発症する実験動物において、骨格筋での酸化能力やPGC-1 α の mRNA発現量の低下を促進するとともに、体重増加、中性脂肪の増大、血糖の上昇を加速する。近年、1.25気圧、酸素濃度36%による高気圧酸素の使用が2型糖尿病や高血圧の予防・改善に有効であることが明らかになった。2型糖尿病を発症する実験動物では、高気圧酸素の使用によって発育に伴う血糖の上昇を抑制したり、成熟時の高血糖を低下させることが可能となる。これは、糖尿病によって生じた骨格筋での酸化能力やPGC-1 α の mRNA発現量の低下が高気圧酸素の使用によって抑制・改善されたことによると推察される。本総説では、メタボリックシンドロームや生活習慣病を発症する実験動物における骨格筋の特性を整理した。さらに、高脂肪食の摂取、運動、高気圧酸素が骨格筋に及ぼす影響について要約した。

メカニカルストレスおよび神経活動によるヒラメ筋特性の調節機構 (p. 29-36)

大阪大学大学院医学系研究科適応生理学

河野史倫, 中井直也, 大平充宣

ヒラメ筋は、重力下における姿勢保持を行うために重要な役割を果たすことが知られている。重力下における姿勢では、足関節の背屈に伴うヒラメ筋長の伸張により持続的な筋電図パターンが見られるが、ラットにおいて微小重力環境暴露や後肢懸垂モデルを行った場合、筋長が受動的に短縮され筋活動も抑制された。さらに、このような筋におけるメカニカルストレスや神経活動の抑制が深刻な筋萎縮を引き起こす原因となることも先行研究により明らかにされている。逆に、共働筋の末梢部腱を切除し、ヒラメ筋に過負荷を与えた場合、筋線維肥大が誘発された。しかしながら、過負荷に加えヒラメ筋由来である第4～5腰椎における後根 (感覚神経) を切除すると、過負荷によって引き起こされる筋肥大は抑制された。これらの結果は、メカニカルストレスと神経活動の両方がヒラメ筋のサイズ調節機構において重要な役割を果たしていることを示すものである。筋サイズ調節メカニズムにおいては、タンパク質合成および分解レベルが非常に大きな役割を演じることが知られている。メカニカルストレスによる筋衛星細胞の動員は、筋核数の増大に寄与し、筋線維サイズ調節に関与する。さらに、ストレス応答性のタンパク質である25kDa heat shock protein (HSP25) は、遅筋線維を多く含有するヒラメ筋において豊富に発現しており、張力発揮等のストレスによってリン酸化を受け、筋原線維の保護・構築にも関与する。以上のように、抗重力筋活動に伴うメカニカルストレスおよび神経活動により、ヒラメ筋はそのユニークな特性を獲得・維持することが示唆される。

リズム的な四肢の運動時における反射の修飾 (p. 37-49)

¹千葉大学教育学部保健体育, ²東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科, ³杏林大学医学部統合生理学

小宮山伴与志^{1,2}, 中島 剛³

歩行や走運動のような多くの移動行動において, 実行中の運動を円滑に継続するため, また身体に外乱が加えられた時に転倒を防ぐために, 我々は意識下で体性感覚情報に信頼を置いている. 身体的な安定に対する外乱によって誘発された反射運動は素早い修正運動を引き起こすために重要な役割を果たす. 移動行動中に筋や皮膚求心性線維によって引き起こされた腕や脚筋の反射出力は, 運動ニューロンの背景活動量は同等であるにもかかわらず座位や立位時とは全く異なる動態を示す. 特に, 皮膚の低域値機械受容器の電気刺激によって引き起こされる皮膚反射回路の興奮性は移動行動中に周期, 神経, 運動課題依存的に強い修飾を受ける. ヒトにおいても, 四足歩行動物で詳細な研究がなされてきた脊髄に存在するパターン発振器は, 移動行動の発現と反射修飾に重要な役割を担っているらしい. しかしながら, 方法論的な困難さから, これまでに積み上げられた証拠は間接的である. 本総説では, ヒトにおける移動行動とリズム的な運動中の皮膚反射の特異的な性質を概観した.

マイオカイン-マイオカインは実際に存在するのか? - (p. 51-58)

首都大学東京大学院人間健康科学研究科ヘルスプロモーションサイエンス

眞鍋康子, 宮武正太, 高木麻由美

近年, 骨格筋が分泌器官としての役割を持っていることが, 明らかになってきた. 骨格筋に由来する分泌タンパクは「マイオカイン」と呼ばれている. これまでにサイトカインや, 成長因子, ある種のアディポカインなど20数個が骨格筋から分泌されるマイオカインとして報告されている. その一方, マイオカインとして紹介されているものには, まだ研究が浅く, 実際に骨格筋細胞から分泌されているのか, 周辺組織由来の因子であるかが明らかにされてないものも多くある. マイオカインの分泌メカニズムについてはほとんどわかっていない. 現在のところ, 筋収縮によって分泌されるもの, インスリン刺激によって分泌されるもの, 刺激がなくても恒常的に分泌されるものが知られている. マイオカインの機能や作用のターゲットとなる器官については, まだほとんど研究が進んでいないが, 一部の研究では骨格筋から分泌され, 自己分泌, 傍分泌的に作用するもの, 循環器系に入り内分泌的に作用するものなどが報告されている. 本総説では, マイオカイン研究の歴史を含め, マイオカインについての最新情報について概説した. さらに, マイオカイン研究はその歴史が浅いことや, データの蓄積が少ないため, 報告されているタンパク質の中にはマイオカインとしての証明が不十分なものもあり, 「マイオカイン」の再定義の必要性について言及した.

低強度運動を感知する分子: 骨格筋AMPK α 1の活性化からの洞察 (p. 59-64)

¹京都大学iPS細胞研究所増殖分化機構, ²京都大学大学院人間・環境学研究科

豊田太郎¹, 江川達郎², 林 達也²

運動がもたらす健康増進効果の発現には, 骨格筋で活性化する5'-AMP-activated protein kinase (AMPK) が寄与すると考えられている. AMPKを構成する三つのサブユニットの中でも, 触媒部位を有する α サブユニットのアイソフォームが異なると($\alpha 1$, $\alpha 2$), 刺激に対する応答性も異なる. 一般に, $\alpha 2$ を有するAMPK (AMPK $\alpha 2$) は $\alpha 1$ を有するAMPK (AMPK $\alpha 1$) よりもAMP依存性が高く, エネルギー状態が低下するとまずAMPK $\alpha 2$ が活性化し, 遅れてAMPK $\alpha 1$ が活性化すると考えられてきた. しかし我々は, ラット骨格筋を用いた検討からAMPK $\alpha 1$ が優先的に活性化するいくつかの条件を発見した(低強度筋収縮, 酸化ストレス負荷, カフェイン刺激). その共通点から, AMPK $\alpha 1$ の活性化にはエネルギー状態の低下を必要としないことが示唆され, AMPK $\alpha 1$ はエネルギー状態の低下を伴わない低強度の筋収縮に応答する鋭敏なセンサー分子であると推測された. AMPK $\alpha 1$ には, 日常生活レベルの比較的低強度の身体活動がもたらす健康増進効果を誘導する分子としての役割が想定される.

中高年者における生活習慣病予防のための個別運動処方とインターバル速歩トレーニング (p. 65-71)

¹信州大学大学院医学系研究科・疾患予防医科学系専攻・個体機能制御学部門・スポーツ医科学, ²熟年体育大学リサーチセンター

能勢 博^{1,2}, 森川真悠子^{1,2}, 増木静江¹, 宮川 健^{1,2}, 上條義一郎¹, 源野広和²

不活動は高血圧症, 2型糖尿病, 肥満, 異常脂質血症などの生活習慣病だけでなく, うつ病, 認知症, がんの原因にもなるといわれ, これらは一括して不活動症候群と呼ばれている. しかし, これらの疾患を予防するために中高年者がいつでもどこでも簡単に実施できる運動処方存在しない. その理由として, 運動処方は個人の体力, 病気の症状, 体質(遺伝背景)に基づいて実施することが理想的と考えられるが, それを支持する科学的根拠が存在しないからである. 我々はACSMのガイドラインに沿って, 「インターバル速歩トレーニング」とそれを用いた「遠隔型個別運動処方システム」を開発し, これまで中高年者に対して同トレーニングの効果の検証を行い, 医療費を含む運動処方効果に関して5,000人以上のデータベースを構築した. その結果, 個別運動処方を5ヶ月間行えば, 体力が10-20%上昇し, 生活習慣病指標が10-20%低下し, 医療費が10-20%削減されることを明らかにした. すなわち, 運動介入の「費用対効果」を明らかにした. これらの結果は, 今後, 運動処方が現在行われている栄養処方と同様の地位を医療体制の中に占められる可能性を示唆する.

運動と体温調節 (p. 73-82)

¹早稲田大学人間科学学術院統合生理学(体温・体液), ²早稲田大学大学院スポーツ科学研究科G-COE, ³早稲田大学応用生理学研究所, ⁴早稲田大学人間科学総合研究センター

永島 計¹⁻⁴, 時澤 健^{1,2}, 内田有希¹, 中村(松田)真由美¹, 林 政賢^{1,2}

ヒトは体温調節をするにあたり、動物として備わった生理学的な反応はもちろん、生活から備わった文化、機械や衣服等の素材の開発などを用いている点で非常にユニークである。われわれは仕事や健康のため、そして楽しむのためとして運動を行うが、一方で運動は体温調節に対する強いかく乱因子である。暑熱下での強度の運動は、ある条件では生命にとって非常に危険な高体温を短時間で導くことになる。体温調節は生理学的に行動性、自律性に大きく分けられる。強度の運動ではこれらの体温調節機構を最大に動員しても、産生される熱を十分には逃がすことが出来ない場合が多い。運動中の事故として、この体の温度平衡の破綻は大きな割合を占めているという過言ではない。本総説では最近の体温調節機構に関する知見を含めてまとめ、われわれが体温をいかに調節しているか、どのような場合に破綻するのか、またその対策を考察した。

骨格筋肥大におけるタンパク質代謝と筋原性幹細胞の役割：レジスタンストレーニングのプログラムとの関連性から (p. 83-94)

¹東京大学大学院総合文化研究科生命環境科学系、²東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学系、³日本体育大学大学院健康科学・スポーツ医科学系

石井直方^{1,2}、小笠原理紀²、小林幸次³、中里浩一³

運動による骨格筋肥大のメカニズムを知ることは、多様な身体的状況に応じたレジスタンストレーニングを処方する上でも重要である。これまでの多数の研究から、1回のトレーニング後に筋内で急性の翻訳過程活性化が起こり、このことが筋タンパク質の合成増加と、長期効果としての筋肥大において中心的な役割を果たすことがわかっている。この翻訳過程の活性化には、mTORシグナル伝達系が深く関わっている。一方、伸張性筋活動を含む、高強度の筋運動後には、筋の微小な損傷などを介して、筋タンパク質分解が一過的に上昇することが報告されている。また、我々は最近、適度な強度の伸張性筋活動はFOXOのリン酸化を介して筋タンパク質分解を抑制し、高強度の伸張性筋活動は脱リン酸化FOXOの増加を介して筋タンパク質の分解を促進することを示した。一般的なレジスタンストレーニングにおいて筋肥大効果を得るためには、中～高強度という運動強度が必須とされている。これは、トレーニングによって、mTORシグナル伝達系の活性化と肥大が生じるのが、主に動員閾値の高い速筋線維（タイプII線維）においてであるためと考えられる。しかし、いくつかの最近の研究から、低強度であっても、トレーニング容量がきわめて大きい場合や、力積（力×時間）が大きい場合には、筋タンパク質合成の上昇と筋肥大が起こることが示されている。その一因として、強い局所的筋疲労が最終的にタイプII線維の動員をもたらすことがあげられる。高強度、低強度いずれの場合にも、筋肥大を引き起こすような運動は、筋原性幹細胞である筋サテライト細胞を活性化し、筋線維核数を増加させる。筋線維核数の増加は、筋肥大に必須ではないものの、mTORシグナルによる核内での細胞サイクル調節タンパク質の転写活性化を介して、翻訳過程の活性化を増強すると考えられる。これらのことから、mTORシグナル伝達系と筋タンパク質

合成を活性化するためには、複数のアプローチが可能であり、必ずしもトレーニング強度は不可欠の要素ではないことが示唆される。

骨格筋の機能・構造連関が示す脊椎動物運動器機能達成の共通戦略：水状態の利用 (p. 95-101)

¹東京慈恵会医科大学医学部分子生理学、²東京歯科大学市川総合病院放射線科

竹森 重¹、木村雅子^{1,2}

骨格筋、筋膜、腱、軟骨、骨はいずれも中胚葉起源の組織であり、連続した筋骨格系を形成する。この運動器系には、体重や運動の衝撃に耐える強靱さと摩擦のない関節運動とを両立させることが要求される。この一見矛盾する二つの要求に応えるために、組織水が異なる水状態にある成分から構成され、成分間の遷移が起こる事を共通戦略として利用していることが、骨格筋と軟骨の機能・構造連関の解析から期待される。タンパク等の溶質・構成成分と運動器機能の関係に注目が集まる今日の運動器系体力科学研究において、組織環境を統合する場を提供している水の状態が果たす役割にも目を向けることが、体力科学研究をさらに先に進める一つの足がかりになるものと期待される。

運動イメージとスポーツパフォーマンス (p. 103-111)

¹早稲田大学大学院スポーツ科学研究科スポーツ神経科学、²日本学術振興会、³早稲田大学スポーツ科学学術院スポーツ神経科学

水口暢章^{1,2}、中田大貴³、内田雄介³、彼末一之³

本総説では、どのように運動イメージ能力を評価するか、運動イメージ中の脳活動、イメージトレーニングの効果、感覚入力が運動イメージに及ぼす影響についてまとめた。始めに、運動イメージの種類を整理し、運動イメージ能力を評価する質問紙、mental chronometry、mental rotation taskなどの心理学的手法を紹介した。運動イメージ中の脳活動測定には経頭蓋磁気刺激法(TMS)、機能的核磁気共鳴画像法(fMRI)、ポジトロン断層法(PET)、脳波(EEG)などが使われており、運動イメージ中の脳活動は実際の運動と類似した領域が活動していることが示唆されている。例えば、運動イメージ中には補足運動野、運動前野や頭頂連合野などが活動する。体性感覚刺激や視覚入力は運動イメージ中の脳活動に影響することが示唆されている。また、実際の運動によって生じる感覚と似た感覚刺激を与えると運動イメージ中の脳活動が高まる。これまでに、イメージトレーニングを行うと運動スキルが向上することは数多くの先行研究によって確認されており、多くのアスリートはイメージトレーニングを行っていることが報告されている。これらの知見はスポーツやリハビリテーションにイメージトレーニングが有用であることを示している。

マクロフェージ機能に対する運動の影響 (p. 113-123)

¹杏林大学医学部衛生学公衆衛生学、²早稲田大学人間科学学術院生体機能学、³同志社大学スポーツ健康科学部スポーツ健康科学、⁴電気通信大学大学院情報理工学研究科、⁵防衛医科大学校防衛医学研究センター、⁶筑波大学 木崎節子¹、佐藤章悟¹、桜井拓也¹、小笠原準悦¹、

今泉和彦², 井澤鉄也³, 長澤純一⁴, 斎藤大蔵⁵, 芳賀脩光⁶, 大野秀樹¹

自然免疫系は病原微生物の侵入を感知し最前線での生体防御を行っている。マクロファージはその防御機構において、病原体を貪食・排除すると共に獲得免疫系への抗原提示とその調節制御という重要な役割も果たしている。近年、運動は生体防御能を向上させると考えられていて、実際、身体活動量の多い人は、少ない人に比べて感染に対して抵抗力が強いことが報告されている。運動はカテコールアミンやグルココルチコイドなどのホルモンを上昇させる。それらのホルモンは免疫機能に影響を与えることから、免疫系への運動効果との関連が推測される。例えば、 β_2 アドレナリン受容体のアゴニストであるカテコールアミンはマクロファージの殺菌能を抑制し、感染防御能を低下する。しかし、運動は β_2 アドレナリン受容体の発現量を低下することによって生体防御能を亢進する。寒冷ストレスなどにより上昇するグルココルチコイドは、抑制性マクロファージを増加させ獲得免疫機能を低下させるが、水泳トレーニングはそれを阻止する。さらに、日常的活動量の少ないライフスタイルにより、内臓脂肪の蓄積と、それに伴い炎症性マクロファージなどの免疫細胞の脂肪組織への浸潤が起こる。やがて全身性の低レベルの炎症状態が惹起され、インスリン抵抗性へと繋がるが、運動トレーニングはその炎症状態を低下させインスリン感受性を改善する。こういった運動の良い効果をもたらすメカニズムはまだ十分に解明されていないが、最近、運動が炎症性マクロファージの脂肪組織への浸潤を抑制することや、マクロファージの産生するグレリンが運動の抗炎症性効果を媒介していることなどが明らかにされた。本総説では、運動がマクロファージの機能に与える影響に焦点を当てこれまでに明らかにされたことを紹介すると共に、疾患の予防や治療における運動の役割について考察した。

熱ストレスによる骨格筋の応答-熱ショックタンパク質と細胞内シグナル伝達 (p. 125-131)

¹順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科, ²順天堂大学大学院スポーツ健康医科学研究所

内藤久士^{1,2}, 吉原利典¹, 柿木 亮², 関根紀子², 都築孝允¹

多くの研究者が、熱ストレスが生体に及ぼす影響に関心を寄せてきた。近年、骨格筋に対する熱ストレスが筋タンパク質量の増加や引き続き生じる筋の肥大、または筋萎縮の抑制に効果をもたらすことが実証されつつある。その細胞内でのメカニズムについては依然不明な点が多いが、熱ストレスによって誘導されるタンパク質である熱ショックタンパク質 (HSP) がその中心的な役割を担っていると考えられている。しかしながら、熱ストレスで誘発される筋の肥大および筋萎縮の軽減は、HSPの発現の増加のみならず、筋タンパク質の合成および分解に関わる複合的なシグナル伝達経路によっても調節されている可能性が示唆され始めている。また、熱ストレスは、その他の骨格筋の機能においても様々な変化も引き起こすようである。骨格筋における熱ストレスが引き起こす変化に関わる分子生物学的なメカニズムを明らかにするためにはさらなる研究が必要であるが、熱ストレスは筋量の増加、廃用性筋萎縮の抑制、筋損傷からの早

期回復の促進ならびに糖代謝の改善などに対する有益なツールとなりうるかもしれない。本総説では、熱ストレスがこれら骨格筋に与える影響について要約した。

Short Review Articles

運動、栄養と鉄状態 (p. 133-137)

¹大阪体育大学大学院スポーツ科学研究科スポーツ栄養,

²香川大学農学部食品栄養学

藤井嵩子¹, 松尾達博², 岡村浩嗣¹

鉄欠乏は発展途上国だけでなく先進国において未だに重要な栄養問題である。さらに、アスリート集団において鉄欠乏性貧血の割合が高く、その多くがエアロビック運動の種目である。そのため、運動が身体の鉄栄養状態に及ぼす影響に関する研究の多くはエアロビック運動を対象にして行われてきた。それらの研究結果の多くはエアロビック運動が身体の鉄栄養状態に悪影響を及ぼすことを示唆している。そのため、鉄栄養状態の改善については栄養の影響が中心に研究されてきた。しかし、近年、レジスタンス運動により身体の鉄栄養状態が改善されることが報告された。この報告により、運動の違いが身体の鉄栄養状態に及ぼす影響が異なる可能性が示唆された。運動により鉄栄養状態が改善されることは、鉄欠乏罹患率が多い発展途上国においても経済的に合理的であることから、今後、鉄状態と身体活動の関連性について更なる研究を進めていくことは重要であるかもしれない。

骨格筋 β_2 -アドレナリン受容体シグナル伝達に及ぼす β_2 -作動薬および運動の影響 (p. 139-144)

¹早稲田大学人間科学学術院生体機能学, ²日本学術振興会, ³杏林大学医学部衛生学公衆衛生学, ⁴上越教育大学大学院生活健康系, ⁵早稲田大学大学院スポーツ科学研究科G-COE

佐藤章悟¹⁻³, 白土 健¹, 木崎節子³, 大野秀樹³, 立屋敷かおる⁴, 今泉和彦^{1,5}

本稿では、まず β_2 -作動薬や運動に対する骨格筋のタンパク質同化応答および代謝応答について述べた。その特徴として、 β_2 -作動薬処理により速筋タイプの骨格筋が特異的に肥大することが知られている。また、運動に代表される身体活動は骨格筋における糖恒常性、ミトコンドリア生合成、各種代謝酵素量などを向上させるが、その向上効果は β_2 -作動薬処理により消去される。さらに、本稿では骨格筋における β_2 -作動薬や運動に対する β_2 -アドレナリン受容体シグナル伝達分子 (CREB, MAPK, Akt) の応答とその機能についても言及した。特に、我々の最新の知見により、 β_2 -作動薬処理や運動が遅筋タイプの骨格筋に対し特異的にp38 MAPKのリン酸化を亢進させることが見出されている。これらの知見から、 β_2 -アドレナリン受容体を介したシグナル伝達は骨格筋において β_2 -作動薬や運動に対するタンパク質同化応答および代謝応答に機能的に関わっていることが示唆される。

ヘキソサミン生合成経路と糖鎖修飾に及ぼす運動の影響

(p. 145-150)

¹早稲田大学人間科学学術院生体機能学, ²杏林大学医学部衛生学公衆衛生学

白土 健¹, 木崎節子², 大野秀樹², 今泉和彦¹

細胞内に取り込まれたグルコースのうちおよそ1-3%はヘキソサミン生合成経路を介して代謝される。その結果産生されるウリジン-5'-二リン酸-N-アセチルグルコサミン (UDP-GlcNAc) は、ゴルジ体に輸送され細胞外及び細胞膜タンパク質のN-またはO-結合型糖鎖修飾、さらに細胞質内では細胞質及び核タンパク質のO-結合型N-アセチルグルコサミン (O-GlcNAc) 修飾などのドナー基質として用いられる。特にO-GlcNAc修飾はUDP-GlcNAcからGlcNAcを標的タンパク質のセリン/スレオニン残基に付加する翻訳後修飾の一種で、O-GlcNAc転移酵素 (OGT) とO-GlcNAc分解酵素の活性によって可逆的に調節されている。OGTの活性は細胞内UDP-GlcNAc濃度に対して感受性が高いことから、O-GlcNAcレベルはヘキソサミン生合成経路を介するグルコース代謝量により直接影響を受ける。実際に、その代謝過剰により惹起されるO-GlcNAcレベルの亢進はインスリン抵抗性のメカニズムに一部関与するものと考えられている。近年、ヘキソサミン生合成経路や糖鎖修飾に及ぼす運動の影響について報告がなされ始めている。そこで、本稿では運動、ヘキソサミン生合成経路、糖鎖修飾のうち特にO-GlcNAc修飾、及びインスリン抵抗性との関連性について考察した。

骨格筋再生と筋幹細胞 (p. 151-154)

ハーバード大学医学部ボストン小児病院

本橋紀夫, Matthew S. Alexander, Louis M. Kunkel

骨格筋は生体で最も大きな臓器であり、収縮や運動に必要な力を産生する。一方で、骨格筋は、激しい運動や疾病によって惹き起こされる損傷・壊死に対して速やかに再生する能力を有している。骨格筋再生において、中心的役割を果たしている骨格筋組織幹細胞を筋衛星細胞と呼ぶ。筋衛星細胞は通常静止状態にあるが、骨格筋が傷害を受けると、筋衛星細胞は活性化及び増殖を開始する。増殖した細胞 (筋芽細胞) は傷害を受けた筋管や、互いに融合し、新たな筋管を形成する。また活性化した筋衛星細胞の一部は、自己複製し、再び静止状態に戻る。このように筋衛星細胞は骨格筋再生において、大きな役割を果たしているが、その一方で、多能性幹細胞を含む骨格筋内の様々な細胞も、筋管形成や筋衛星細胞の動態に強く関与していることが近年報告されている。そこで本稿では、骨格筋再生における筋衛星細胞及び多能性幹細胞の役割について概説した。また、これらの細胞を用いて行われている筋疾患 (主に筋ジストロフィー) に対する最新の治療法についても紹介した。

瞬発系パフォーマンス向上のためのウォームアップ法

(p. 155-158)

早稲田大学スポーツ科学学術院

宮本直和

競技選手やスポーツ愛好家は、競技前のウォームアップを習慣的に行っている。しかしながら、実際に行われ

ているウォームアップの内容は経験などに基づいて決められていることが多く、特に、瞬発系競技のパフォーマンスを高めるためにはどのようなウォームアップを行えば良いのか、という点についてはほとんど知られていない。近年の研究では、高強度短時間の筋収縮後にみられる活動後増強効果の役割が注目を浴び、ウォームアップとしての高強度短時間の筋収縮が瞬発系競技のパフォーマンスを向上させるか否かについて数多く検討されている。しかしながら、その効果については一致した見解が得られていない。これは、筋収縮は活動後増強の効果だけではなく筋疲労をも引き起こすためであると考えられる。本総説では、十分に統制された近年の研究結果をもとに、活動後増強および疲労の両観点から、瞬発系競技のパフォーマンス向上を目的とした適切なウォームアップ法について述べた。

骨格筋の恒常性維持におけるオートファジーの役割

(p. 159-162)

広島修道大学人間環境学部

緒方知徳

オートファジーはリソソームを介して細胞タンパク質や細胞小器官を分解する経路で、細胞の生存に不可欠な役割を担っている。近年の研究ではオートファジーと筋の恒常性の関連性について、注目が集められている。骨格筋内のオートファジーは絶食や除神経といった萎縮に関連する刺激だけでなく、身体運動によっても惹起される。過度なオートファジーの活性化は、骨格筋の萎縮をもたらす。一方で、筋内におけるオートファジーの不足は、変異したタンパク質や細胞小器官の蓄積をもたらし、それに伴う筋の脆弱化や筋疾患、老齢性の筋萎縮の進行を引き起こす。また、身体運動時のオートファジーの誘導は、有酸素能力の向上やインスリン感受性の改善においても重要な役割を担っているようである。このように、生理的な状況に応じてオートファジーを適切に調節することは、筋の恒常性を維持するうえで重要である。

筋活動によるタンパク質合成の低下機序 (p. 163-165)

至学館大学健康科学部栄養科学

村上太郎

骨格筋のタンパク質合成は、運動中に低下し、運動後の回復期に増大することが知られている。運動中に筋タンパク質の合成が低下する機序として、AMPKの活性化によるmTORC1経路の抑制とCa²⁺依存性のeEF2の不活性化が提案されている。REDD1は低酸素などのストレスによって発現が高まるが、近年、筆者らは運動中に認められる筋タンパク質合成の低下にREDD1が関与している可能性を示した。筋収縮によってタンパク質の合成が低下する機序や、その後の回復期に筋タンパク質の合成が増大に向かう機序を明らかにすることは、運動選手のトレーニング法の開発だけでなく、高齢者のサルコペニアを予防するための戦略を考案するうえでも有用である。

Regular Articles**地域在住高齢者における高齢期の運動実践を予測する因子としての運動履歴 (p. 167-174)**

¹ユヴァスキュラ大学ジェロントロジーリサーチセンター, ²国立長寿医療研究センター予防開発部, ³愛知淑徳大学健康医療科学部, ⁴東海学園大学スポーツ健康科学部

小坂井留美^{1,2}, 安藤富士子^{2,3}, 金 興烈^{2,4}, Taina Rantanen¹, 下方浩史²

活動的に生活することは、生涯を通じて重要である。しかし、高齢者がそれまでの生涯を通じてどのような運動習慣を経てきたかについては、十分に検討されていない。本研究の目的は、60歳以上の人についてこれまでの運動習慣の変遷を記述し、若い時期の運動習慣が現在の運動習慣に及ぼす影響を検討することである。対象は、60歳から86歳までの地域在住高齢者984名である。年齢区分は、12-19, 20-29, 30-39, 40-59, 60歳以上の5区分とした。60歳以降の運動習慣とそれ以前の運動習慣との関連は、関連要因を調整したロジスティック回帰分析を用いて検討した。男性は、生涯を通じて女性よりも運動を行っていた。女性では、20歳代、30歳代において運動を実施する割合が顕著に低下していた。年齢や性別により、実施頻度の高い運動種目は異なった。男性では生涯を通じて運動習慣のある人、60歳以降に運動習慣を持った人の割合が最も高かった。一方、女性では生涯を通じて運動習慣のない人の割合が最も高かった。60歳以降の運動実践に対する40-59歳に運動習慣がある場合の調整済みオッズ比は、男性において5.85 (95%信頼区間: 3.82-8.96)、女性において6.89 (95%信頼区間: 4.23-11.23)であった。男性において、若い時期の運動習慣は60歳以降の運動習慣に関連していたが、女性では関連が認められなかった。40-59歳の運動習慣は、60歳以降の運動習慣の強い予測因子であることが示された。

マラソンランナーにおける唾液抗菌性ペプチドと上気道感染症との関連 (p. 175-181)

¹大阪成蹊短期大学児童教育学科, ²大阪市立大学大学院医学研究科運動生体医学, ³森之宮医療大学保健医療学部鍼灸学科, ⁴工学院大学基礎教養・教育部門

白井達矢¹, 吉川貴仁², 織田恵輔², 上田真也³, 桂 良寛⁴, 藤本繁夫²

本研究の目的は、抗菌性ペプチドである β -defensin-2 (HBD-2), cathelicidin (LL-37)と上気道感染症との関連を明らかにすることである。加えて、唾液コルチゾールと唾液抗菌性ペプチドとの関連を検討することである。我々は、マラソンランナーにおいて、唾液中の抗菌性ペプチドが低い値を示し、それらは、唾液コルチゾールの分泌と負の相関関係にあると仮説を考えた。20名の男性マラソンランナーと非マラソンランナーを対象に、唾液採取を行い、抗菌性ペプチド(HBD-2, LL-37), コルチゾールの測定と、上気道感染症の罹患状況に関するアンケートを実施した。HBD-2濃度はathlete群(97.2 ± 31.2 pg/ml)がsedentary群(264.6 ± 52.6 pg/ml)より有意に低かった。LL-37濃度は、athlete群(17.6 ± 3.7 ng/ml)がsedentary群(47.0 ± 9.5 ng/ml)より有意に低かった。また、

1年間のURTI回数では、athlete群において有意に高かった。つぎに、HBD-2濃度とURTI回数との間に有意な負の相関を示した。LL-37濃度とURTI回数においても同様に有意な負の相関を示した。以上の結果より、マラソンランナーのHBD-2, LL-37濃度は低値を示し、その濃度が低い者ほど上気道感染症の罹患回数が多いことが明らかとなった。

異なる強度の持久性運動負荷が酸化ストレスならびに抗酸化能力に及ぼす影響 (p. 183-189)

¹早稲田大学大学院スポーツ科学研究科, ²日本学術振興会, ³早稲田大学スポーツ科学学術院, ⁴徳島大学大学院ソシオ・アーツ・サイエンス研究部

高橋将記^{1,2}, 鈴木克彦³, 的場秀樹⁴, 坂本静男³, 小原 繁⁴

運動強度の増加に伴い活性酸素種の生成が高まり、血中過酸化脂質が増加すると報告されている。しかし、異なる運動強度における活性酸素の生成に対して酵素的および非酵素的抗酸化能力がどのように変動するかについて同時に検討した報告は少ない。本研究では、異なる強度の持久性運動負荷時における活性酸素種の生成に対して酵素的および非酵素的抗酸化能力がどのように変動するかを検討した。対象は男子大学生8名とした。無酸素性作業閾値の運動負荷(仕事率watts)を100%とし、自転車エルゴメーターを用いて低強度(70% AT:LI)条件、中強度(100% AT:MI)および高強度(130% AT:HI)の3条件の運動を20分間実施した。対照条件としては安静座位(C)条件を設定した。血液サンプルは、上記の各条件において①運動前、②運動直後、③運動終了後30分の計3回採取した。その結果、血中d-ROMsは、HI条件において安静時と比べて運動直後と回復期に有意に上昇した。また、血中TEACはHI条件において安静時と比べて運動直後に有意に高かった。さらに、血中GPX活性は、MIとHI条件において安静時と比べて運動直後に有意に高かった。以上の結果より、無酸素性作業閾値以下の運動条件では酸化ストレス指標の有意な変動は認められないが、無酸素性作業閾値以上の運動条件では運動後の酸化ストレスが上昇する可能性が示唆された。また、無酸素性作業閾値以上の運動条件では生体内の非酵素的抗酸化能力やグルタチオンペルオキシダーゼ活性が有意に上昇することから、活性酸素に対する防御機構が誘導されるものと推定された。

若年男子の自己申告性の身体活動量と脈波伝播速度との関係 (p. 191-195)

徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部

三浦 哉, 丸岡沙織, 杉野 恵

習慣的な運動は動脈機能の維持・改善のために重要である。しかし、青年期の動脈の伸展性に及ぼす身体活動の役割については不明である。そこで本研究では、男子高校生を対象に身体活動量が上腕～足首までの脈波伝播速度(baPWV)に及ぼす影響について検討した。221名の健康な男子高校生のbaPWV, 上腕収縮期・拡張期血圧(SBP/DBP), 身体組成を測定し、自己報告による身体活動量(PA)は国際身体活動量質問表を用いて評価した。各測定項目の結果は15, 16, 17, 18歳の4つの年

JPFMSM, 抄録

年齢群に分けて比較した結果、年齢とともにbaPWV, SBP およびDBPが上昇した。重回帰分析の結果、baPWVにはSBP ($\beta=0.496$), 年齢 ($\beta=0.186$) が有意な正の影響, PA ($\beta=-0.170$) および体重 ($\beta=-0.133$) に有意な負の

影響を及ぼすことが明らかになった ($R^2=0.366$)。これらの結果は、中高齢者と同様に青年期においても身体活動量はbaPWVを低下させ、動脈の機能性を改善するという考えを支持する。