

---

# The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine (JPFMSM)

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

---

Volume 1, Number 4 November 25, 2012

## CONTENTS

### *Editorial Article*

**On acting as the ninth President of the Japanese Society of Physical Fitness and Sports Medicine**

T. Shimomitsu .....551

### *Review Articles*

**Application of bioelectrical impedance to sports science**

H. Komiya .....553

**Regulation of glucose transport in skeletal muscle during and after exercise**

K. Kawanaka .....563

**Central command: Feedforward control of the sympathetic-adrenal system during exercise**

K. Matsukawa, N. Liang and K. Ishii .....573

**The role of exercise and diet in maintaining bone health**

Y. Ishimi and K. Yanaka .....579

**Mild exercise model for enhancement of hippocampal neurogenesis: A possible candidate for promotion of neurogenesis**

M. Okamoto and H. Soya .....585

**An optimal exercise protocol for improving endurance performance and health**

H. Tanaka, K. Morimura and K. Shiose .....595

**Arterial function during various acute exercises**

H. Miura .....605

**The old-but-new theories about human voluntary motor control**

M. Suzuki and T. Wasaka .....611

**Evaluation of functional properties of skeletal muscle using functional magnetic resonance imaging (fMRI)**

H. Akima .....621

**Arterial baroreflex regulation of cerebral blood flow in humans**

S. Ogoh, A. Hirasawa and JP. Fisher .....631

**Reference values and prediction of sarcopenia in Japanese men and women**

K. Sanada and M. Miyachi .....637

**The suppression of tumor necrosis factor- $\alpha$  production in response to pathogen stimulation by strenuous exercise and underlying mechanisms**

H. Yano, M. Uchida, E. Oyanagi, N. Kawanishi, D. Shiva and H. Kitamura .....645

**Regulatory mechanisms of muscle fiber types and their possible interactions with external nutritional stimuli**

K. Nakazato and A. Tsutaki .....655

### *Short Review Articles*

**Somatosensory control of spinal reflex circuitry during robotic-assisted stepping**

T. Nakajima, K. Kamibayashi and K. Nakazawa .....665

**Effect of hyperthermia-induced hyperventilation on central fatigue during exercise in heat**

K. Hayashi .....671

**The regulatory mechanisms of satellite cell migration in skeletal muscle**

M. Ishido .....675

### *Regular Articles*

**Effect of functional ankle instability on rebound drop jump**

N. Yoshida, S. Miyakawa, T. Miyamoto, A. Masunari, N. Kobayashi, E. Yamada, H. Shiraki and T. Ishii .....679

**Effects of black garlic supplementation on exercise-induced physiological responses**

L. Wang, K. Mimura and S. Fujimoto .....685

**Effect of long-term voluntary exercise and energy restriction on bone mineral density in mature female rats**

K. Yanaka, M. Higuchi and Y. Ishimi .....695

**Oxygen uptake efficiency slope calculations based on heart rate reserve endpoints in young, intellectually disabled in-**

**dividuals**

T. Yabumoto, R. Baba, T. Watanabe, N. Sakakibara,  
T. Ukai, O. Fukutomi and T. Matsuoka .....703

***Short Communication***

**Increased dystrophin mRNA and protein levels in atrophic skeletal muscles in streptozotocin-induced diabetic rats**

T. Egawa, S. Masuda, K. Goto and T. Hayashi .....709

**Acknowledgment to reviewers** .....715

**Index to keywords** .....716

**Index to authors** .....718

## Abstracts

**The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine (JPFSM)**  
**Vol. 1, No. 4 November 2012**

**Editorial Article**

日本体力医学会第9代理事長就任にあたって (p. 551)

日本体力医学会理事長

下光輝一 (公益財団法人健康・体力づくり事業財団理事長, 東京医科大学名誉教授)

このたび私は2012年4月1日より歴史と伝統のある日本体力医学会第9代理事長を就任することになりました。1949年に日本体力医学会が設立されて以来、63年の歳月が流れましたが、先人たちの努力により、今日では日本医学会第39分科会として5200名の会員を擁し、わが国における体力医学、スポーツ医科学、健康科学にかかわる研究をリードする学会として確固たる地位を築いています。

本学会は、公衆衛生、疫学などの社会医学、内科や整形外科などの臨床スポーツ医学、運動生理学、栄養学、体育学、そしてスポーツ心理学などの専門家、研究者、実践家が一堂に会した学際的な学会です。

今日、日本体力医学会を取り巻く社会状況は、大きく変化しています。人類は、ステントの開発、遺伝子治療、再生医療、創薬などの科学技術を駆使した最先端医療を進めつつありますが、一方では、生活習慣病発症を予防する予防医学や更により一層健康を増進するヘルスプロモーションを推し進めることも必要となっています。また、生物学的な寿命を延ばすことよりも健康寿命を延ばすことが、健康づくり施策の重要な課題となりました。それを達成するためには、個人の生活習慣改善などの行動変容を進めることばかりでなく、それらを取り巻く社会環境への働きかけも重要となります。特に、良好な生活習慣の代表的なものである身体活動・運動、スポーツ、体力をテーマとした研究の重要性が一層増しています。現に新しい健康づくり施策「健康日本21」においても、身体活動は、栄養や喫煙の問題とともに第一に取り上げられています。

そのような中で、日本体力医学会に集う研究者たちは、疾病を有する人、一般健康人、運動愛好者、競技選手それぞれの健康増進や効果的な競技能力向上を推進するために、基礎医学の研究から、体育学あるいは運動学におけるトレーニング指導、運動処方、さらには臨床医学や社会医学、疫学、心理学など多岐にわたる研究を押し進めています。

私はこのような学会をしっかりと運営し、学会の発展に微力を尽くす所存です。その具体的な活動方針を以下に挙げました。

- 1) 学会の持てる力を存分に発揮するために、理事会、評議員会、各種委員会のあいだでの対話を積極的に行い、民主的な学会運営を目指す。
- 2) 学会組織強化の一環として、今期のうちに学会の一般社団法人化を進める。
- 3) 学会誌編集については、和文誌を継続的に発行しつ

つ、本欧文誌 (JPFSM) の発行を軌道に乗せ、内容の充実を図る。

- 4) マルチレベルでの研究や実践での連携協力を図る。本学会内では個人間の連携以外に、分野間の連携を、スポーツ科学関連学会や臨床系医学会及び健康関連学会などとの連携、さらに国際学会との連携を図る。
  - 5) 本学会での研究成果の応用を図り、国や地域、職域、学校等で健康体力づくり、運動、スポーツの推進のための施策提言や各種ガイドラインの作成などを積極的に行なう。
  - 6) 本学会において男女共同参画を推進する。
- 終りに、本学会が益々発展するよう学会運営を行いますので、ご支援、ご協力をよろしくお願いいたします。

**Review Articles****生体電気インピーダンスのスポーツ科学への適用**

(p. 553-562)

宇都宮大学教育学部保健体育科

小宮秀明

生体電気インピーダンス (BIA) は微弱な高周波電流を体内に流し、その電気抵抗を基に身体内の組織量や血液量の変化などを測定する方法である。BIAを用いた生体測定は20世紀の初頭にさかのぼり、実用化に向け多くの技術的改良が加えられてきた。BIAは非侵襲的、安価、安全性に優れており、また特殊な測定技術を必要としないため、大規模なpopulation studyやスポーツ科学の分野における生体計測に適した測定装置となってきた。既にBIAに関する多くの研究が報告されており、スポーツ科学への貢献が認められている。しかし、BIA測定は他の測定装置に比べると操作が簡単であるが、測定方法に関して適正に解釈するための基礎知識と正確な方法論が要求される。本総説では、運動と関わりのある体組成の測定理論、心拍出量の測定法および骨格筋量の推定法について要約した。まず、BIAによる安静時の心拍出量 (CO) の測定に関しては安定した結果が得られる一方、動的な運動時には多くの制限を必要とした。近年、高速フーリエ変換やアルゴリズムを改良することにより、動的運動時のCOの測定を可能としている。また、体内の水分量や体脂肪量は抵抗やコンデンサーを直列あるいは並列に組み合わせ、細胞や組織を可能な限り単純化した電氣的モデルとしてとらえ算出している。最後に四肢の骨格筋量の測定においては、単周波インピーダンスや多周波インピーダンスを用いて新たな推定式が作成され、それぞれ高い信頼性と再現性が報告されている。今後はBIA法を活用したスポーツ科学に貢献できる簡便で精度の高い生体観察の測定器機と測定法の開発が期待される。

### 運動中ならびに運動後の骨格筋糖輸送調節機構

(p. 563-572)

新潟医療福祉大学筋骨格系機能研究センター

川中健太郎

運動が2型糖尿病の予防や治療に有効であることはよく知られているが、この運動効果は一般的には肥満防止効果によるものと説明されることが多い。しかし、その他にも、運動に使用された筋で局所的に生じる糖取り込み上昇効果が糖尿病予防効果に貢献している。例えば、急性運動中ならびに運動終了後2～3時間の間、活動筋ではインスリン非依存的に糖輸送担体GLUT4の細胞膜移行が生じて血糖取り込みが増加する。さらに、急性運動終了から数時間経過した後、活動した筋ではインスリンによるGLUT4細胞膜移行が増強される。このような筋収縮由来の糖取り込み上昇効果によって、運動に使用された筋ではグリコーゲンの素早い補充と超回復が生じる。また、運動を慢性的に繰り返すことで、活動筋ではGLUT4遺伝子発現が上昇してGLUT4の量自体が増加する。GLUT4含量の増加にともない、糖取り込み能力が上昇した筋では運動後の筋グリコーゲン超回復現象が増強される。本総説では、このような筋収縮由来に生じる効果について概説するとともに、特に、運動後の血糖取り込み上昇効果と筋グリコーゲン回復の関係性について詳しく述べた。

### セントラルコマンド：運動時の交感神経－副腎髄質系のフィードフォワード制御 (p. 573-577)

広島大学大学院医歯薬保健学研究院

松川寛二, 梁 楠, 石井 圭

高次中枢に由来するフィードフォワード制御（セントラルコマンド）は随意運動時にみられる心臓血管系生理機能の自律神経性調節において重要な役割を果たす。その制御機構を解明するためには、運動時の自律神経活動を記録し応答様式を明らかにしなければならない。従来、心拍制御において、運動開始時に心臓副交感神経活動が減少し（これはvagal withdrawalと呼ばれる）心拍数を増加させると考えられている。我々は、意識下覚醒動物や無麻酔除脳動物を用いて、自発運動時にみられる心臓交感神経活動および心臓副交感神経活動（迷走神経活動）を直接計測した。その結果、従来の通説とは全く異なり、セントラルコマンドは心臓副交感神経活動を減少させずむしろ心臓交感神経活動を運動直前に増加させることを明らかにした。次に、セントラルコマンドと副腎交感神経活動の関係を調べるために、健常動物あるいは両側副腎を摘出した動物をトレッドミル運動させ心拍数変化を比較した。運動開始時に起こる心拍数増加は両群間で一致したが、運動開始12秒経過後に続く心拍数増加は健常群に比較して副腎摘出群で有意に低下した。この結果から、セントラルコマンドは副腎交感神経の節前線維活動を運動開始と同時に増加させアドレナリンを副腎髄質から放出させ始めると推測される。アドレナリンは副腎静脈から細動脈まで循環し（安静時ラットの場合には循環時間は約8-10秒、安静時ヒトの場合循環時間は約20-30秒）心臓血管系効果器に作用する。以上の所見から、セントラルコマンドによるフィードフォワード制御は心臓交感神経活動ならびに副腎交感神経活動を運

動開始に先行または同時に賦活する。心拍数は運動開始と同時に心臓交感神経刺激により増加し、その後副腎交感神経活動により放出された副腎髄質ホルモンにより更に増加すると考えられる。

### 骨の健康維持における運動と食事の役割 (p. 579-583)

<sup>1</sup>国立健康・栄養研究所食品保健機能研究部, <sup>2</sup>早稲田大学スポーツ科学学術院, <sup>3</sup>早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

石見佳子<sup>1,2</sup>, 谷中かおる<sup>1,3</sup>

骨量は一旦減少すると回復は見込めないことから、骨粗鬆症は予防がもっとも重要である。骨量は男女ともに20歳代で最大となり、その後40歳頃まで一定か僅かに増加し、その後、減少する。特に女性では、女性ホルモンが閉経により急激に低下するため50歳以降の閉経後に急激に骨量が減少する。骨量に関係する因子は、このような性別、年齢、ホルモンの他に、遺伝的素因、運動、栄養、ライフスタイルがある。中でも運動と栄養は、われわれの生活習慣によって改善が見込めることから、骨の健康維持には大変重要な因子といえる。生涯を通して荷重のかかる運動の実施とミネラル、ビタミン豊富な食事は骨の健康維持に重要である。本稿では骨の健康維持と骨粗鬆症の予防に有用な運動と食事について解説した。

### 海馬神経新生を促進する低強度運動モデルの確立：神経新生を高める候補因子の探索 (p. 585-594)

筑波大学体育系

岡本正洋, 征矢英昭

海馬は記憶や学習を担う脳部位である。成熟した哺乳類の脳において、海馬は神経細胞が新たに生まれる（神経新生）数少ない部位として知られる。ストレスや加齢による神経新生の減少はうつ病など、気分障害や神経変性疾患の一因とされる一方、運動は神経新生を高める。これまでに多くの研究が運動による認知機能や気分に対する有益な効果に神経新生が介在することを報告しており、運動が神経新生を高めるその機構解明が期待される。しかし、どのような運動（強度や頻度など）がどのような機構を介して神経新生を高めるか未だ明らかではない。私どもはストレス反応を招く高強度運動よりも、ストレス反応を伴わない低強度運動が神経新生を高めるとする仮説を検証するため、スピード調節が可能なトレッドミルを用い、乳酸性作業閾値（LT, 約20m/min）以下の低強度運動モデルを確立した。これまでにこの運動モデルを用いて、低強度運動が海馬の神経活動、神経栄養因子発現、そして神経新生を高めることを明らかにし、低強度運動モデルは認知機能を高める有用なモデルであることを示した。今後、このモデルを通して得られる新たな知見や情報は認知機能を高める運動プログラム、特に体力レベルが低い子供や高齢者向けのプログラム開発に役立つことが期待される。

### 持久的能力と健康の維持・増進のための至的運動

(p. 595-604)

福岡大学スポーツ科学部

田中宏暁, 森村和浩, 塩瀬圭佑

有酸素性運動は、健康の維持・増進や持久的能力の向



上に貢献する。近年、これらの適応は運動に伴う一過性の遺伝子発現の結果として齎されることが示唆されている。本総説では持久的能力と健康の維持・増進のための至的運動条件を、遺伝子発現の変化を踏まえながら概説した。Peroxisome proliferator-activated receptor- $\gamma$  coactivator-1 (PGC-1 $\alpha$ )はミトコンドリア機能向上の鍵遺伝子として働く。すなわちPGC-1 $\alpha$ の発現を促す運動条件は、持久的能力と健康の維持・増進に有用であると考えられる。乳酸閾値強度の運動はPGC-1 $\alpha$ 発現を促す閾値強度であることが示唆されている。実際にこれまでの研究では、乳酸閾値強度の運動トレーニングによって様々な体力レベルの対象者において体力向上が認められている。従って、乳酸閾値強度は持久的能力と健康の維持・増進のための下限運動強度であると考えられる。一方、高強度間欠式運動はPGC-1 $\alpha$ 発現を促進することが知られ、少ないトレーニング量でも持続的運動と同様に持久的能力と健康の維持・増進に有用な可能性がある。さらに高強度間欠式運動は十分な休息を取りながら実施することで骨格筋グリコーゲンレベルの顕著な低下を誘導する。このような低グリコーゲン状態はミトコンドリア機能の向上が通常以上に促されることが報告されている。したがって、高強度間欠式運動を用いることで下限運動量にて持久的能力と健康の維持・増進が期待できる。

#### 様々な一過性運動時の動脈機能 (p. 605-610)

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

加齢にともなう動脈機能の低下は、収縮期血圧の増大に関連する生理的現象の一部と考えられている。しかし、動脈機能の低下の程度は習慣的な運動によって左右される。循環器疾患の予防・治療のためには、様々な運動が推奨されている。本総説では様々な一過性運動時の動脈機能の特徴について概説した。中程度の持久的運動後では動脈コンプライアンスが増加するのに対して、高強度の抵抗性運動、伸張性収縮運動後では動脈コンプライアンスの低下、動脈スティフネスの増加がみられ、運動様式の違いにより動脈機能に及ぼす影響が異なっている。また、持久的運動であっても、ウルトラマラソン終了後、上肢クランク運動後では、動脈スティフネスが増大することが明らかにされている。これらの知見から、動脈機能の維持・改善のための運動を処方するためには、運動様式、運動強度、運動量などの要因を考慮する必要があると示唆される。

#### ヒトの運動制御理論に関する未解決の問題 (p. 611-619)

<sup>1</sup>金城学院大学多元心理学科, <sup>2</sup>生理学研究所統合生理研究系感覚運動調節研究部門

##### 鈴木正隆<sup>1</sup>, 和坂俊昭<sup>2</sup>

運動制御研究において、一世紀以上前に物理学者ヘルムホルツにより問題提起され、現在でも論争の続く未解決の問題がある。意図された運動に付随しておこる感覚情報は、外乱（意図されない運動）によって生じた情報とどのように区別されるのか。前者においては、感覚情報はむしろ意図する動作軌道を乱すものとして不要であ

り、したがって消去される（されなければならない）のに対して、後者においてそれらは知覚情報、あるいは反射入力として積極的に活用される。その後、1950年代に提唱されたスペリーによるCorollary discharge theoryを中心に関連する幾つかの重要な理論（Efference copy theory）、仮説（Equilibrium point hypothesis）を概観し、それら相互の類似点、矛盾点、進展等に関して述べる。特にPsychophysics, Neuroscienceの分野における近年の成果には注目すべきものがいくつかあり、それらにも焦点を当て今後の研究の方向性について考察した。

#### 骨格筋磁気共鳴画像法を用いた筋機能の評価

(p. 621-630)

名古屋大学総合保健体育科学センター・大学院教育発達科学研究科

##### 秋間 広

骨格筋機能的磁気共鳴画像はヒト骨格筋の解剖学的・機能的特性の可視化をする上で非常に強力なツールとなる。Fleckensteinは1988年に活動筋において急性のMRIシグナル変化が起こることを初めて示し、その後、健康な人および疾病を持つ人の骨格筋の機能や代謝を調べる研究が多くなされて来た。本総説では骨格筋機能的磁気共鳴画像に関して以下の5つ点についてフォーカスしている、1) 骨格筋機能的磁気共鳴画像と他の機能的パラメータとの関係、2) 単関節および多関節運動時の筋活動パターン、3) レジスタンストレーニングが骨格筋機能的磁気共鳴画像に及ぼす影響、4) 身体不活動が骨格筋機能的磁気共鳴画像に及ぼす影響、5) 骨格筋機能的磁気共鳴画像による単一筋内の筋活動の不均一化の評価。最後に骨格筋機能的磁気共鳴画像の将来的なアプリケーションと予想できる貢献について議論した。

#### 圧受容器反射による脳血流調節 (p. 631-636)

<sup>1</sup>東洋大学理工学部生体医工学科, <sup>2</sup>School of Sport and Exercise Sciences, University of Birmingham (UK)

##### 小河繁彦<sup>1</sup>, 平澤 愛<sup>1</sup>, James P. Fisher<sup>2</sup>

圧受容器反射は、動脈血圧の短期の調節において重要な役割を担っている。すなわち、生命維持に関わる各器官への適切な血流維持を保証するための生理システムであると言える。特にヒト起立時においては、圧受容器反射における心拍出量や血管抵抗の調節は、脳循環を維持する上で必要不可欠のものである。しかし、脳血管調節機構は、様々な調節メカニズム（脳自己調節機能、二酸化炭素反応など）が含まれるため、圧受容器反射における直接的及び間接的な脳循環調節への役割について十分に解明されていない。本総説では圧受容器反射の脳循環に及ぼす影響について最近の報告を紹介しながら概説した。

#### 日本人男女を対象としたサルコペニア参照値と簡易推定法 (p. 637-643)

<sup>1</sup>立命館大学スポーツ健康科学部, <sup>2</sup>国立健康・栄養研究所健康増進研究部

##### 真田樹義<sup>1</sup>, 宮地元彦<sup>2</sup>

本総説では、日本人のためのサルコペニアの参照値と心血管系疾患リスクの関係およびサルコペニアの簡易

推定法について検討した。サルコペニアの参照値は、若年被験者における二重エネルギー X線吸収 (DXA) 法を用いた骨格筋指数の平均値と標準偏差を使用した。DXA法によるサルコペニアとサルコペニア予備群の参照値は、男性が $6.87 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ と $7.77 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、女性が $5.46 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ と $6.12 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。サルコペニア予備群と正常群を比較したところ、サルコペニア予備群は、体格指数や体脂肪率が正常群より有意に低いにもかかわらず、男性では血中グリコヘモグロビン濃度、女性では脈波伝搬速度が有意に高かった。ステップワイズ回帰分析の結果、DXA法による骨格筋指数は、男性は体格指数 (BMI)、腹囲、年齢、女性はBMI、握力、腹囲によって決定された。また、妥当性検討群において骨格筋指数の簡易推定式を応用したところ、DXA法による実測値と推定値との間に、男女とも強い相関関係が得られた。以上の結果から、日本人のサルコペニアは糖尿病発症リスクや動脈硬化に関連する可能性が示唆された。また、私たちが開発した骨格筋指数の簡易推定式における妥当性が確認された。

#### 病原体関連分子由来腫瘍壊死因子- $\alpha$ 産生の激運動による抑制とそのメカニズム (p. 645-653)

<sup>1</sup>川崎医療福祉大学健康体育学, <sup>2</sup>国立健康・栄養研究所健康増進研究部, <sup>3</sup>早稲田大学大学院スポーツ科学研究科, <sup>4</sup>倉敷芸術科学大学健康科学, <sup>5</sup>和洋女子大学運動生理学

矢野博己<sup>1</sup>, 内田昌孝<sup>1</sup>, 小柳えり<sup>2</sup>, 川西範明<sup>3</sup>, 椎葉大輔<sup>4</sup>, 北村裕美<sup>5</sup>

身体活動は、癌や感染症のリスクを低減させる。しかし、激しい運動では、一過性感染症のリスクが高まるとされており、これを "オープンウィンドウ" 状態と呼ぶ。実際、激しい運動は、病原体分子に反応して上昇する血中サイトカイン濃度を抑制する。そしてこのメカニズムとして、激運動時に増加するストレスホルモン、特にカテコールアミンが関与するようである。大腸菌内毒素リポポリサッカライド (LPS) による血漿腫瘍壊死因子 (TNF)- $\alpha$  の産生の運動による抑制は、 $\beta$ -アドレナリン受容体を介して作用する運動誘発性のカテコールアミンが原因であることが判明している。細胞のシグナル伝達機構の面からみると、Toll様受容体 (TLR) 4の発現や、TNF- $\alpha$  mRNA発現には変化が生じないものの、組織内TNF- $\alpha$  濃度の抑制が観察される。したがって、感染源への暴露にもかかわらず、激運動後の血漿TNF- $\alpha$  濃度の抑制が観察される現象は、TNF- $\alpha$  の翻訳レベルでの抑制によって生じている。本総説では、激運動による病原体関連分子由来TNF- $\alpha$  産生に関する我々の研究成果を紹介し、カテコールアミンによるその産生抑制のメカニズムについて解説した。

#### 筋線維タイプの制御に関わる分子機構とそれらに栄養摂取が影響を与える可能性 (p. 655-664)

日本体育大学体育学部運動生理学

中里浩一, 葛木 新

本総説では栄養摂取がミオシン重鎖の発現調節に与える影響に関して概観した。まず、ミオシン重鎖とその遺伝子配座を確認し、それら遺伝子の発現調節に関わる

(1) カルシウムイオン関連シグナル, (2) AMPKシグナル, (3) miRNAあるいはアンチセンスRNAの役割に言及した。次にミオシン重鎖発現量に影響を与える栄養摂取として (1) カロリー制限, (2) 高脂肪食, (3) ポリフェノール, (4) 高タンパク質食などの可能性を挙げた。栄養摂取による筋線維タイプの調節は、競技選手にとって有用なコンディショニング方法の一つになる可能性がある。

#### Short Review Articles

##### 受動歩行運動の脊髄神経機構とその可塑性 (p. 665-670)

<sup>1</sup>杏林大学医学部, <sup>2</sup>筑波大学大学院システム情報工学研究科, <sup>3</sup>東京大学大学院総合文化研究科

中島 剛<sup>1</sup>, 上林清孝<sup>2</sup>, 中澤公孝<sup>3</sup>

脊髄損傷者や脳血管障害者の歩行機能再獲得に向けた神経リハビリテーション法として、体重を部分的に免荷した状況下で下肢の動作を補助し (受動歩行運動)、正常な歩容を再現する免荷式歩行トレーニングがその主流となりつつある。この背景には脊髄を含む中枢神経系が可塑性の性質を持つことが明らかにされ、歩行機能再獲得が実現できる可能性が示唆されたことが大きい。歩行運動における自律的な運動出力は脊髄に存在する基本的なリズムを発生する神経回路網 (CPG) によって制御されており、歩行に関連した感覚情報は、そのCPG回路の出力の一部に貢献していることが知られている。脊髄不全損傷の場合、受動歩行運動によって生じる歩行に関連した感覚情報が、一部上位中枢からの連絡の途絶えたCPG回路に再学習を促し、神経回路網自身の再構築を引き起こすと考えられている。これらの証拠は脊髄損傷動物モデルを用いた基礎研究に立脚する部分が多い。しかし、ヒトにおける歩行に関連した感覚情報が脊髄CPGシステムを駆動させるのか否かについて不明な点が多い。また、どのように脊髄神経回路網に可塑性を生むのかについてもよく分かっていない。ヒトにおいてこれらの神経回路網に焦点を絞る場合、動物実験のような侵襲的な手法を用いることは許されない。そこで、各種脊髄反射を神経プローブとして、その活動を詳細に検討する必要がある。本総説ではヒトにおける受動歩行運動の脊髄神経機構とその可塑性について概観し、歩行機能再建に向けた新たな歩行リハビリテーション戦略について考察した。

##### 暑熱下運動時における高体温による換気亢進が中枢性疲労に及ぼす影響 (p. 671-673)

静岡県立大学短期大学

林 恵嗣

暑熱環境下では持久的運動能力が低下する。運動パフォーマンスに影響を及ぼす要因はいくつかあるが、その中の一つに脳温の上昇によって起こる中枢性疲労が考えられている。暑熱下における長時間運動時には深部体温が上昇し、その深部体温の上昇にともない毎分換気量が増加する。この高体温によって引き起こされる換気亢進が中枢性疲労に関与することが示唆されている。高体温による換気亢進反応は、体温上昇にともなってその反応が大きくなるという点において熱放散反応とよく似て



いるが、いくつか異なる点もある。例えば、高体温によって起こる換気亢進反応では、動脈血二酸化炭素分圧の低下がみられるが、これは動物におけるパンティング反応とは異なる。また、この換気亢進によって脳血流量の減少が起こり、運動中の脳温上昇を加速させる。本総説では、高体温によって起こる換気亢進反応の特徴と中枢性疲労への影響について概説した。

### 骨格筋における筋衛星細胞移動の制御メカニズム

(p. 675-677)

愛知教育大学教育学部創造科学系

石道峰典

骨格筋には筋衛星細胞と呼ばれる幹細胞が局在し、骨格筋の損傷や疾患時の筋再生に中心的な役割を果たす。筋衛星細胞による骨格筋再生の過程の中で、筋衛星細胞の移動が重要な役割を果たすことが知られており、長年、主要な移動様式は、葉状仮足であると考えられてきた。さらに近年では、細胞膜のプレビングが筋衛星細胞の移動に深く関与していると考えられてきている。その一方で、生体の骨格筋内に局在する筋衛星細胞の移動特性に関しては、ほとんど明らかにされていない。しかし、近年、生体の筋衛星細胞のバイオイメージングに関する報告がなされ、生体での筋衛星細胞移動の制御メカニズムがより一層解明されていくことが期待されている。本総説では、筋衛星細胞の移動の制御メカニズム並びに生体でのバイオイメージングによる筋衛星細胞移動に関する最新の知見を紹介した。

### Regular Articles

#### リバウンドドロップジャンプに対する足関節機能的不安定性の影響 (p. 679-684)

<sup>1</sup>帝京平成大学ヒューマンケア学部, <sup>2</sup>筑波大学大学院人間総合科学研究科, <sup>3</sup>帝京平成大学地域医療学部, <sup>4</sup>筑波大学体育センター, <sup>5</sup>東京医科大学茨城医療センター

吉田成仁<sup>1,2</sup>, 宮川俊平<sup>2</sup>, 宮本俊和<sup>2</sup>, 増成暁彦<sup>2</sup>, 小林直行<sup>3</sup>, 山田永子<sup>4</sup>, 白木 仁<sup>2</sup>, 石井朝夫<sup>5</sup>

足関節は伸長短縮サイクル (SSC) 運動において重要な役割を担っている。そのため、足関節不安定性はSSC運動に対して悪影響を及ぼす可能性がある。足関節不安定性とSSC運動の関連が明らかになれば、足関節捻挫後に競技復帰を目指すアスレティックリハビリテーションの進行方法やその際の競技復帰基準の設定に対して有益な知見となり得ると考え、本研究では足関節不安定性とSSC運動の関係について調査した。片脚に足関節不安定性を有する8名を対象とし、足関節不安定性を有する足 (AI group, 8足) と健全な足 (NI group, 8足) に分けた。足関節不安定性はカールソンスコアを用いて評価した。SSC運動のひとつであるリバウンドドロップジャンプを実施させ、滞空時間と接地時間を評価した。Biodex Systemを用いて足関節底屈背屈最大筋力を併せて測定した。その結果、滞空時間に差は認められなかったが、AI groupの接地時間がNI groupに比べて延長していた。最大筋力については差がみられなかった。以上の結果より、足関節不安定性は接地時間を延長し、SSC運動に対して影響を与えることが示唆された。

#### 運動誘発性の生理学的な反応に対する黒ニンニク摂食の効果 (p. 685-694)

<sup>1</sup>社団法人メディカル・フィットネス協会, <sup>2</sup>大阪成蹊大学, <sup>3</sup>大阪市立大学大学院医学研究科

汪 立新<sup>1</sup>, 三村寛一<sup>2</sup>, 藤本繁夫<sup>3</sup>

ニンニクを含めた抗酸化物は運動誘発性の酸化ストレス改善に有用であるが、黒ニンニクは近年に開発され、強い抗酸化力のある完全自然食品である。本研究では、黒ニンニク摂食が運動誘発性の生理学的な反応、特に、酸化ストレスおよび筋機能回復に及ぼす効果を検討した。非鍛錬男性19名は14日間の研究期間中に、同様な年齢とBMIにより、黒ニンニク群 (n=11, GG群) とプラセボ群 (n=8, PG群) に分けた。肘屈筋群のエクセントリック運動を行う前後に、筋機能や筋損傷蛋白質、炎症細胞、サイトカイン、血中活性酸素代謝物 (d-ROMs) と抗酸化力 (BAP) など血液と尿液の生化学指標を測定した。最大随意筋収縮力は運動直後には両群共に35%を低下したが、GG群の上腕周囲径は運動後3-7日後にPG群より有意に早く回復できた。運動後のd-ROMs値については、GG群は運動後1-3日後においてPG群より有意に低かったが、BAP値は両群において有意な差がなかった。運動は白血球の増加を誘発し、単球、リンパ球と好中球の時間作用が認められた。運動後3日目の血中CK値、または運動3-7日後の血中脂質過酸化物質濃度は、PG群がGG群より有意に高かった。運動後の8-iso-PGF<sub>2α</sub>濃度は、PG群では有意に増加し、運動後の各時点でGG群より有意に高かった。以上の結果から、黒ニンニク摂食は運動誘発性の生理学的な反応、特に酸化ストレスを抑制し、筋局部浮腫の回復を促進する可能性のあることが示唆された。

#### エネルギー制限及び自発運動負荷が成熟期雌性ラットの骨密度に及ぼす影響 (p. 695-702)

<sup>1</sup>早稲田大学大学院スポーツ科学研究科, <sup>2</sup>国立健康・栄養研究所食品保健機能研究部, <sup>3</sup>早稲田大学スポーツ科学学術院

谷中かおる<sup>1,2</sup>, 樋口 満<sup>3</sup>, 石見佳子<sup>2,3</sup>

「女性アスリートの三主徴」は、摂食障害、運動性無月経、骨粗鬆症を伴う症候群であり、女性競技者において重要な問題となっている。なかでも、骨粗鬆症は骨折の危険性を高めることから、その予防が課題である。本研究は、この課題を解決するための手段として、女性アスリートの骨粗鬆症モデル動物の確立を目的とし、エネルギー制限及び自発運動負荷が骨密度へ及ぼす影響を検討した。8週齢、SD系雌性ラットを、非運動群 (SED) または自発運動を負荷する運動群 (RUN) に分けた。10週間後、運動群を、食餌の摂取量に制限をしない自由摂食群 (RUN-Control: RC)、摂食量を70%に制限する群 (RUN-Restriction: RR) に分け、計3群とした。24週間後、大腿骨骨密度、血中E<sub>2</sub>、LH濃度を測定した。その結果、RR群はSED群及びRC群と比較して大腿骨骨密度が有意に低値を示した。血中E<sub>2</sub>濃度は、RR群がSED群と比較して有意に低値を示し、RC群との間には差は認められなかった。血中LH濃度はRR群はSED群およびRC群と比較して有意に低値を示した。以上の結果より、雌性ラットでは自発運動負荷時に30%の食餌制限

は骨密度低下を引き起こす可能性が示され、血中E<sub>2</sub>濃度及びLH濃度の変化をもたらすことが示された。

#### 知的障害者に対する心拍予備能を用いた酸素摂取効率勾配による運動耐容能評価の有用性 (p. 703-707)

<sup>1</sup>岐阜大学大学院医学系研究科, <sup>2</sup>ひめゆり療育センター, <sup>3</sup>あいち小児保健医療総合センター, <sup>4</sup>福富医院  
 藪本 保<sup>1,2</sup>, 馬場礼三<sup>3</sup>, 渡邊恒夫<sup>1</sup>, 榎原直樹<sup>1</sup>, 鶴飼建志<sup>1</sup>, 福富 悌<sup>1</sup>, 松岡敏男<sup>1</sup>

知的障害者は運動負荷試験への理解や動機付けの問題から、最大努力が得られない場合がある。そのため、最大努力を必要としない酸素摂取効率勾配 (OUES) による運動耐容能の評価が心疾患者などを対象に臨床場面で活用されている。そこで本研究では、OUESによる運動耐容能の評価を用いて、知的障害者に対する全身持久力の評価が可能であるか否かを検討した。対象は知的障害者48例とし、運動負荷試験には自転車エルゴメータを用いた。最大努力が得られた判定基準として、peak RER>1.09を採用し、最大努力が得られた対象者48例中36例を用いて、運動パフォーマンスの各指標との関連について検討した。運動パフォーマンスの指標には、peak $\dot{V}O_2$ 、VT、OUESを用いた。到達運動時点においてVT、peak $\dot{V}O_2$ とOUESとの相関を求めた。さらに、OUES、peak $\dot{V}O_2$ の% HRmaxごとの違いについても検討した。その結果、対象者の1/4が最大努力に達しなかった。OUESはpeak $\dot{V}O_2$ とVTとの間に相関がみられた。運動強度の違いについてはOUESに有意差がみられなかった。以上の結果より、OUESは運動強度に影響されにくく、予測最大心拍数の60%程度の最大下運動負荷強度では知的障害の影響を除外した正確な全身持久力を評価できる可能性が示唆された。

#### Short Communication

##### ストレプトゾトシン誘発性糖尿病ラットの萎縮骨格筋におけるジストロフィン発現量の変化 (p. 709-713)

<sup>1</sup>京都大学大学院人間・環境学研究科, <sup>2</sup>豊橋創造大学大学院健康科学研究科

江川達郎<sup>1,2</sup>, 増田慎也<sup>1</sup>, 後藤勝正<sup>2</sup>, 林 達也<sup>1</sup>

重度の糖尿病状態では進行性の骨格筋萎縮を発症することが報告されている。また骨格筋構成タンパク質の1つであるジストロフィンの欠損は骨格筋萎縮を誘発する。本研究では糖尿病性筋萎縮の進行にはジストロフィン欠損が関与しているという仮説を立て、筋萎縮を呈するストレプトゾトシン (STZ) 誘発性糖尿病モデル動物を用いて、萎縮骨格筋におけるジストロフィンmRNAおよびタンパク質発現量を測定した。8週齢の雄性Sprague-Dawleyラットに生理食塩水に溶解したSTZ (45 mg/kg 体重) を尾静脈投与した群をSTZ群とし、生理食塩水を投与した群を対照群とした。投与4または12週間後にヒラメ筋および長指伸筋を摘出するとともに血液を採取した。STZ群では対照群に対し血糖値の上昇および体重減少、体重あたりのヒラメ筋および長指伸筋重量の低下が認められた。また筋萎縮に伴ってglucose transporter 4タンパク質発現量の減少が認められた。STZ群の萎縮骨格筋では対照群に比べAkt Ser<sup>473</sup>リン酸化、p70 S6 kinase Thr<sup>389</sup>リン酸化が減少した。一方、ジストロフィンmRNAおよびタンパク質発現量とともに増加した。免疫組織化学的検討の結果から、ジストロフィンの局在は両群に差はなかった。以上の結果より、糖尿病状態における骨格筋萎縮にジストロフィン欠損が関与していないことが示唆された。