

---

---

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

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

---

Volume 5, Number 1 March 25, 2016

## CONTENTS

### *Editorial Articles*

#### **Greetings**

M. Suzuki ..... 1

#### **From the Editor-in-Chief of The Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine**

K. Tanaka ..... 4

#### **A message from the new Editor-in-Chief**

K. Goto ..... 5

### *Review Articles*

#### **Optimal exercise protocol for osteogenic response**

Y. Umemura ..... 7

#### **High-intensity interval training enhances oxidative capacity and substrate availability in skeletal muscle**

D. Hoshino, Y. Kitaoka and H. Hatta ..... 13

#### **Gene-exercise interactions in the development of cardiometabolic diseases**

K. Tanisawa, M. Tanaka and M. Higuchi ..... 25

#### **Training-induced changes in architecture of human skeletal muscles: Current evidence and unresolved issues**

R. Ema, R. Akagi, T. Wakahara and Y. Kawakami ..... 37

#### **Approaches to physical fitness and sports medicine through X-ray diffraction analysis of striated muscle**

M. Yamaguchi, S. Takemori, M. Kimura, N. Nakahara, T. Ohno, T. Yamazawa, S. Yokomizo, N. Akiyama and N. Yagi ..... 47

#### **Effects of acute exercise on executive function in children with and without neurodevelopmental disorders**

K. Soga, K. Kamijo and H. Masaki ..... 57

### *Short Review Articles*

#### **New aspects of microcurrent electrical neuromuscular stimulation in sports medicine**

H. Fujiya and K. Goto ..... 69

#### **Does vibration-induced kinesthetic illusion accompany motor responses in agonistic and antagonistic muscles?**

T. Kito ..... 73

#### **Estrogenic modulation of female thermoregulatory behavior in a cold environment**

Y. Uchida, K. Nagashima and S. Marui ..... 77

#### **Mechanical and oxidative stress in osteoarthritis**

N. Yui, K. Yudoh, H. Fujiya and H. Musha ..... 81

### *Regular Articles*

#### **Sex-differences in age-related grip strength decline: A 10-year longitudinal study of community-living middle-aged and older Japanese**

R. Kozakai, F. Ando, H. Y Kim, A. Yuki, R. Otsuka and H. Shimokata ..... 87

#### **Anteroposterior ground reaction force as an indicator of gait alteration during treadmill walking after anterior cruciate ligament reconstruction**

T. Hoshiba, H. Nakata, Y. Saho, K. Kanosue and T. Fukubayashi ..... 95

#### **Hip rotation as a risk factor of anterior cruciate ligament injury in female athletes**

T. Yasuda, Y. Yokoi, K. Oyanagi and K. Hamamoto ..... 105

*Correction* ..... 115

## Abstracts

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

Vol. 5, No. 1 March 2016

## Review Articles

## 骨形成に最適な運動プロトコル (p. 7-12)

中京大学スポーツ科学部

梅村義久

運動によって骨に加わる力学的な負荷は骨量や骨強度を増加させる。骨細胞にあるメカニカルストレスのセンサー（メカノセンサー）が、力学的な負荷によって生じる骨の歪みを感じていると考えられている。より大きな歪みまたは変化率が大きな歪みは骨形成を増大するので、骨に大きな動的な歪みを与えるハイインパクト運動は効果的な運動様式である。しかしながら、メカノセンサーの感受性（メカノセンシティブリティ）は連続負荷の後には低下する。なぜならば連続負荷においては効果が減少するからである。負荷後に低下した感受性の回復には数時間または数日かかることがある。最適な運動頻度を知るためにはメカノセンシティブリティの回復過程を考えることが重要である。これらの機序を考慮したうえで、本総説では骨形成に最適な運動プロトコルについて概説した。

## 高強度インターバルトレーニングは骨格筋の酸化能力と基質の利用能力を増大する (p. 13-23)

<sup>1</sup>東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup>東京大学大学院総合文化研究科

星野太佑<sup>1</sup>, 北岡 祐<sup>2</sup>, 八田秀雄<sup>2</sup>

高強度インターバルトレーニング (HIIT) は、高強度短時間運動と休息を繰り返すトレーニングである。本総説では、HIITによる代謝的な適応、特に骨格筋における酸化能力と基質の利用能力への影響を概説する。本総説では、HIITを85%  $\dot{V}O_{2max}$ もしくは $\dot{V}O_{2peak}$ 以上の強度の運動を繰り返すプログラムを最低2週間おこなったトレーニングとし、休息時間、運動時間は問わないものとした。第一に、HIITが骨格筋の代謝、特にミトコンドリアと基質のトランスポーターにどのような影響をあたえるのか述べる。HIITは、骨格筋のミトコンドリアの量、機能、ダイナミクスに影響をあたえる。さらに、HIITは骨格筋の基質のトランスポータータンパク質量を増加させる。これらミトコンドリアとトランスポーターの適応は、全身および骨格筋における基質の利用能力を改善させる。第二に、HIITによる適応のメカニズムについて、特にミトコンドリアの新生に着目して説明する。ミトコンドリア新生のメカニズムの一つとして、PGC-1 $\alpha$ とその上流のシグナル経路 (CaMK, AMPK, p38を含む) が関わっていることは間違いない。また、ミトコンドリアの新生は運動強度に依存して高まることから、速筋線維の動員と乳酸の蓄積の重要性が示唆される。第三に、HIIT研究の次の方向性として、オミクス解析と数理モデリングを含むシステム生物学的な

アプローチを紹介する。これらのアプローチは現在私達が直面している問題を解決し、HIITによる適応メカニズムの理解を加速させる可能性がある。これを成功させるためには、スポーツサイエンティストのみではなく、様々なバックグラウンドを持った研究者を含む学際的なサイエンスチームを組織化することが必須である。

## 心血管代謝疾患発症における遺伝・身体運動の相互作用 (p. 25-36)

<sup>1</sup>早稲田大学スポーツ科学学術院, <sup>2</sup>東京都健康長寿医療センター研究所, <sup>3</sup>日本学術振興会, <sup>4</sup>早稲田大学アクティヴ・エイジング研究所

谷澤薫平<sup>1,2,3</sup>, 田中雅嗣<sup>2</sup>, 樋口 満<sup>1,4</sup>

2型糖尿病、脳卒中、冠動脈疾患をはじめとする心血管代謝疾患は、複数の遺伝要因、環境要因および生活習慣要因により発症が規定される多因子疾患である。身体運動は、数多い生活習慣要因の中でも心血管代謝疾患の最も信頼できる予測因子の一つであり、多くの疫学研究により、高い身体活動量や体力が心血管代謝疾患の低い発症リスクと関連することが明らかとされている。一方で、遺伝要因も環境要因や生活習慣要因に匹敵する強さで心血管代謝疾患の発症と関連することが明らかとされており、心血管代謝疾患の発症を規定する遺伝子多型が数多く同定されている。さらに重要なことに、遺伝要因と身体運動は相互作用して心血管代謝疾患の発症を規定する。例えば、習慣的な運動による心血管代謝疾患のリスクファクター改善の個人差は遺伝要因により一部規定される一方で、習慣的に運動を行っている者においては、心血管代謝疾患の遺伝的リスクが軽減されるという報告もある。これら遺伝要因と身体運動の相互作用を理解することにより、個々の遺伝素因に応じた心血管代謝疾患予防のためのオーダーメイド運動処方や、身体活動量・体力の基準値の策定に貢献できる可能性がある。本稿では、心血管代謝疾患の疾患感受性遺伝子探索の動向と、そのリスクファクターに及ぼす遺伝・身体運動の相互作用について検討した近年の研究について概説する。

## トレーニングによるヒト骨格筋の形状変化：最新の知見と今後の課題 (p. 37-46)

<sup>1</sup>芝浦工業大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup>日本学術振興会, <sup>3</sup>芝浦工業大学システム理工学部, <sup>4</sup>同志社大学スポーツ健康科学部, <sup>5</sup>早稲田大学スポーツ科学学術院  
江間諒一<sup>1,2</sup>, 赤木亮太<sup>3</sup>, 若原 卓<sup>4</sup>, 川上泰雄<sup>5</sup>

本総説では、トレーニングによるヒト骨格筋の形状変化について、筋束長と羽状角に焦点を当て、これまでに報告されている知見と、いまだ明らかとなっていない点を概説した。競技アスリートを対象とした多くの横断研究によって、両パラメータ (筋束長と羽状角) が様々なトレーニングによって変化する可能性が示唆されてい

る。レジスタンストレーニングを実施した縦断研究によって、両パラメータの変化に関する直接的なエビデンスが蓄積されつつある。しかし、筋束長と羽状角それぞれに変化をもたらす要因について、いまだ一致した見解は得られていない。骨格筋の形状は筋機能を決定する主要な因子であることから、トレーニングによる変化が生じるメカニズムを明らかにするため、さらなる研究の進展が望まれる。

#### X線回折法による体力医学へのアプローチ (p. 47-55)

<sup>1</sup>東京慈恵会医科大学分子生理学, <sup>2</sup>女子栄養大学統合生理学, <sup>3</sup>東海大学大学院体育学研究科, <sup>4</sup>東京慈恵会医科大学分子免疫学, <sup>5</sup>高輝度光科学研究センター利用研究促進部門

山口眞紀<sup>1</sup>, 竹森 重<sup>1</sup>, 木村雅子<sup>2</sup>, 中原直哉<sup>1</sup>, 大野哲生<sup>1</sup>, 山澤徳志子<sup>1</sup>, 横溝駿矢<sup>3</sup>, 秋山暢丈<sup>4</sup>, 八木直人<sup>5</sup>

X線回折法は生理的に機能している横紋筋の分子構造をオングストロームレベルの分解能で非侵襲的に観察する方法である。まずX線回折法からわかる横紋筋の筋節構造の基本について述べた後に、X線回折法を応用した体力医学領域の諸研究の中から、廃用性筋萎縮、骨格筋ミオシン軽鎖リン酸化の筋活性修飾効果、筋収縮キネティクスと筋節内分子構造の相関、速筋と遅筋の筋節内構造の差異、遺伝性疾患の病態発現機構についての研究を採り挙げてその成果を概説した。X線回折法が体力医学領域でますます活躍することを期待している。

#### 健常児と発達障害児における一過性の運動が実行機能に与える影響 (p. 57-67)

<sup>1</sup>早稲田大学スポーツ科学研究科, <sup>2</sup>早稲田大学スポーツ科学学術院

曾我啓史<sup>1</sup>, 紙上敬太<sup>2</sup>, 正木宏明<sup>2</sup>

一過性の有酸素運動が健常児の実行機能に与える影響を検討した研究が増加している。従来の知見に基づき、注意欠陥障害・多動性障害や自閉症スペクトラム障害などの発達障害児に対して、一過性運動の効果を検証した研究が近年みられるようになった。本総説では、健常児と発達障害児に及ぼす一過性運動の影響に関する知見を概観し、今後の検討課題について論じた。従来の知見を纏めると、中強度の一過性運動によって健常児と発達障害児の実行機能は一時的に向上することが判明した。また、一過性運動の効果は、運動の種類や参加者特性（有酸素能力、実行機能の能力、発達障害の種類）、認知課題を実施するタイミング（運動後もしくは運動中）の違いによって異なっていた。運動の効果に関する知見は蓄積されているものの、実行機能の向上に最適な運動の種類と強度は未だ明らかにされておらず、更なる研究が必要である。

### Short Review Articles

#### スポーツ医学におけるMicrocurrent Electrical Neuromuscular Stimulationの有用性と新展開 (p. 69-72)

<sup>1</sup>聖マリアンナ医科大学スポーツ医学, <sup>2</sup>豊橋創造大学大学院健康科学研究科

藤谷博人<sup>1</sup>, 後藤勝正<sup>2</sup>

スポーツ外傷には、靭帯、腱、骨格筋、皮膚等の軟部組織の損傷が多くみられる。一般にスポーツ選手は、受傷後、スポーツ現場への可及的早期復帰を強く望むことが多い。近年、組織損傷に対する治療促進の手法に関する研究がいくつか報告されている。微弱電流（MENS: Microcurrent Electrical Neuromuscular Stimulation）は、早期のスポーツ復帰が可能であることが一部のスポーツ現場において、以前より経験されてきた。MENSの効果としては、靭帯損傷、腱損傷、創傷、等の軟部組織損傷に対する修復促進作用に関する報告が散見される。最近、スポーツ外傷の中で最も頻度の高い外傷の1つである筋損傷に対しても、MENSは修復促進作用を持つことが報告された。スポーツにおけるこれら一連の軟部組織損傷に対する治療は、以前から局所安静を中心とした保存療法が一般的とされてきた。しかしながら、受傷後早期からMENSを施行した方がより早い組織修復、治癒が期待でき、MENSは軟部組織損傷全般に対する治療体系の中の新しい標準的手法となる可能性がある。本総説では、スポーツ外傷に対するMENSの有用性とスポーツ医学における今後の展望について概説した。

#### 振動刺激による錯覚動作と反射的な筋活動の関係

(p. 73-76)

順天堂大学スポーツ健康科学部

木藤友規

例えば、上腕二頭筋の遠位側の腱に振動を与えると、腕を固定した状態であっても、肘の伸展動作を知覚する。このような錯覚現象は、運動感覚の知覚特性や神経処理基盤を解明するための方法として用いられてきた。一方で、振動刺激による錯覚動作は、刺激された筋やその拮抗筋における筋活動が付随すると信じられてきた。しかし、刺激を受ける肢をリラックスした状態で、その肢の動きのみ注意を向けた場合には、筋活動を伴うことなく動きの知覚を引き起こすことができる。本総説では、振動刺激による錯覚動作と反射的な筋活動の関係について概説した。

#### 女性におけるエストロゲンの寒冷時体温調節行動への修飾 (p. 77-80)

<sup>1</sup>高知大学医学部解剖学, <sup>2</sup>早稲田大学人間科学部体温・体液（統合生理学）, <sup>3</sup>早稲田大学応用脳科学研究所  
内田有希<sup>1</sup>, 永島 計<sup>2,3</sup>, 丸井朱里<sup>2</sup>

本総説では、女性におけるエストロゲン（E<sub>2</sub>）の寒冷時体温調節行動への修飾について概説した。体温調節は暑熱時の発汗、寒冷時の震え等の自律性体温調節と冷暖房機器の利用、着衣行動等の行動性体温調節の二つに分類される。寒冷時自律性体温調節の神経経路と比べ、行動性体温調節の神経機構は殆ど明らかになっていない。環境温の低下が皮膚に分布する感覚神経終末に発現する冷受容分子TRPM8, TRPA1を介して受容され、この神経が脊髄後根神経節、脊髄後角を經由し、脳の外側結合腕核に至る点は、自律性体温調節の神経経路と等しい。この後、未知の脳内の神経連絡により寒冷時体温調節行動が惹起される。女性は更年期、若年期ともに冷え症等の温熱的不快感を訴えることから、E<sub>2</sub>欠乏や濃度変化が温熱感覚や温熱的不快感を変えることで体温調節行動が変化

すると推測される。ラットで報酬行動システムや我々が報告した尾隠し行動（尾部を体幹下に隠す行動）にて体温調節行動を評価すると、E<sub>2</sub>は寒冷時体温調節行動を促進した。このとき、神経マーカー cFosにより神経活動を評価すると、E<sub>2</sub>投与ラットにて脳の島皮質の神経活動は低下した。E<sub>2</sub>の末梢冷受容分子への影響は現在不明だが、少なくともE<sub>2</sub>の中樞（島皮質）への影響は寒冷時体温調節行動に関与すると推測された。しかしながら、神経経路の同定を含め、今後の研究が必要である。

### 変形性関節症におけるメカニカルストレスと酸化ストレス (p. 81-86)

<sup>1</sup>聖マリアンナ医科大学スポーツ医学, <sup>2</sup>聖マリアンナ医科大学難病治療研究センター

油井直子<sup>1</sup>, 遊道和雄<sup>2</sup>, 藤谷博人<sup>1</sup>, 武者春樹<sup>1</sup>

変形性関節症 (osteoarthritis, OA) は、「関節軟骨の変性や物理的摩耗の影響によって引き起こされる二次性の滑膜炎, および軟骨・骨の新生増殖性変化などに基づく進行性の関節変性疾患」と定義される。加齢変化や肥満等の生活習慣に関連して病期は進行し、関節の変形や痛みが漸次増悪化していく変性疾患である。近年、多くの研究報告から、OAの発症には加齢に伴う軟骨基質マトリックスの組成変化に加えて、肥満や荷重等のメカニカルストレスと、それに伴って誘導される酸化ストレス (活性酸素種) の蓄積が関与すること、酸化ストレス環境下に軟骨細胞のDNA損傷や軟骨基質の変性が引き起こされることが明らかとされてきた。本総説では、OA発症の主要因と考えられる関節軟骨組織へのメカニカルストレスによって生じる過剰なフリーラジカル産生と、それによって生じる軟骨細胞DNA損傷およびDNA損傷修復酵素の活性調節機構と軟骨変性発生機序との関連について概説する。

## Regular Articles

### 加齢に伴う握力低下の性差：地域在住中高年者の10年間の縦断研究から (p. 87-94)

<sup>1</sup>北翔大学生涯スポーツ学部, <sup>2</sup>愛知淑徳大学健康医療科学部, <sup>3</sup>南山大学総合政策学部, <sup>4</sup>高知大学教育学部, <sup>5</sup>国立長寿医療研究センター, <sup>6</sup>名古屋学芸大学大学院栄養科学研究科

小坂井留美<sup>1</sup>, 安藤富士子<sup>2</sup>, 金 興烈<sup>3</sup>, 幸 篤武<sup>4</sup>, 大塚 礼<sup>5</sup>, 下方浩史<sup>6</sup>

本研究は、加齢に伴う握力低下の性差を明らかにすること、および縦断疫学調査により40~89歳までの握力低下の進行を記述することを目的とした。対象者は、無作為抽出された地域住民で、ベースライン時に40歳~79歳であった男性648名、女性598名であった。握力は標準的な方法を用い、2年に1回ずつ10年間にわたり測定した。握力の残存率として、10年後の値をベースライン時の値で除した値を算出した。握力の残存率と性、年代 (ベースライン時の10歳毎の年代) との関連は、二元配置の分散分析及びTukey-Kramerの多重比較を用いて検討した。10年間の握力低下の軌跡は、男女別に示した。握力の10年間の残存率は、40歳代、50歳代、60歳代、70歳代の順にそれぞれ、男性で0.90, 0.88, 0.84, 0.79、女性で

0.89, 0.89, 0.89, 0.88であった。握力の残存率と性、年代との交互作用は有意であり、男性の握力の残存率は70歳代ではそれより若い年代に比べ有意に低い結果であった ( $p<0.05$ )。しかし女性では全ての年代において有意な差はみとめられなかった。握力の軌跡を1歳毎の平均値でたどったところ、男性では傾きが急であったが、女性にはほぼ横ばいであった。加齢に伴う握力低下は、男性では高齢になると著しく増加するが、女性では中高年期を通じて一定であることが示された。

### 膝前十字靭帯再建術後のトレッドミル歩行における床反力前後分力の変容について (p. 95-103)

<sup>1</sup>早稲田大学スポーツ科学研究科, <sup>2</sup>奈良女子大学生活環境学部, <sup>3</sup>帝京大学スポーツ医療学科, <sup>4</sup>早稲田大学スポーツ科学学術院

干場拓真<sup>1</sup>, 中田大貴<sup>2</sup>, 佐保泰明<sup>3</sup>, 彼末一之<sup>4</sup>, 福林 徹<sup>4</sup>

本研究は膝前十字靭帯再建術後において体重移行の観点からトレッドミル歩行中の歩行様式と膝伸展・屈曲筋力を検討することを目的とした。ACL再建術者11名 (男性6名と女性5名) 及び健康者17名 (男性9名と女性8名) を対象とし、術後6と12カ月の時点において3歩行速度条件下 (至適, 遅い: 至適-20%, 速い: 至適+20%) のトレッドミル歩行を行わせた。歩行中の両側の床反力3成分 (前後, 左右, 鉛直) のピーク値を測定し、床反力成分のばらつき (変動係数) を解析した。結果、術後6と12カ月時の術側脚とコントロール脚は時間的変数から同様な歩行周期が認められた。しかし、前後分力の変動係数の術側脚・非術側脚比較において、術後6カ月では有意差が認められたが術後12カ月では消失した。大腿四頭筋の筋力低下は術後12カ月まで認められたことから、前後分力の変容は大腿四頭筋の筋力低下の影響を受けていない可能性が示唆された。これより、術後1年以内のACL再建術者における歩行は術側脚と非術側脚が代償し合うことによって遂行されると考えられた。

### 股関節回旋は女性アスリートの前十字靭帯損傷の危険因子である (p. 105-113)

<sup>1</sup>神戸市立医療センター中央市民病院整形外科, <sup>2</sup>リハビリテーション科

安田 義<sup>1,2</sup>, 横井佑樹<sup>2</sup>, 小柳圭一<sup>2</sup>, 濱本和孝<sup>2</sup>

現時点で、女性の膝前十字靭帯 (ACL) 損傷の危険因子となる股関節の解剖学的因子は同定されていない。本研究の目的は、女性の股関節回旋とACL損傷との相関、女性の股関節回旋とACL損傷スクリーニングテストによる膝外反誘発 (ACL損傷の最も有力な危険性予測因子) との相関を明らかにすることである。17名の大学ハンドボール女子選手のうち8名にACL損傷の既往を認めた。その8名の選手と残り9名のACL非損傷選手を比較した場合、ACL損傷女子選手は股関節内旋角度が有意に大きく、股関節外旋角度が有意に小さいことが判明した。ロジスティック回帰分析を行うと、股関節回旋角度はACL損傷の有無と有意に相関していた。股関節内旋角度が外旋角度より大きいinternal rotation dominanceがACL損傷女子選手8名のうち7名に認められたのに対して、ACL非損傷女子選手では9名のうち3名にのみ認められた。ACL損傷の危険性を予測する

スクリーニングテストによる膝外反誘発の有無を健常女性31名で調査すると、vertical jump testで24名、single-leg squat testで22名が膝外反陽性であった。膝外反陰性の女性と比べて、膝外反陽性の女性では股関節外旋角度が有意に小さく、股関節外旋角度とスクリーニングテストによる膝外反陽性とは有意に相関していた。またinternal rotation dominanceも膝外反陽性と有意に相関していた。女性に比べて、スクリーニングテストによる膝外反誘発陽性率は男性では低く、股関節回旋角度またはinternal rotation dominanceと膝外反誘発との間に相関を認めなかった。本研究結果から、ACL損傷リスクの高い女性アスリートを特定するのに股関節回旋角度を測定することが有用である可能性が示唆された。