
The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine (JPFMSM)

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

Volume 4, Number 2 May 25, 2015

CONTENTS

Review Articles

Ventilatory response to increasing body temperature: Characteristics and effect on central fatigue

K. Hayashi 143

Exercise pressor reflex in health and diseases: Animal studies

S. Koba 151

Neural mechanisms of attention involved in perception and action: From neuronal activity to network

T. Kida and R. Kakigi 161

Role of Ca²⁺ signaling in skeletal muscle hypertrophy and atrophy

N. Ito and S. Takeda 171

Exercise performance in acute and chronic cold exposure

H. Wakabayashi, J. Oksa and M.J. Tipton 177

Physical activity and lifestyle intervention

M. Nishiwaki and N. Matsumoto 187

Reflex control of human locomotion: Existence, features and functions of common interneuronal system induced by multiple sensory inputs in humans

T. Nakajima, R.A. Mezzarane, T. Komiyama and E. Paul Zehr 197

Short Review Articles

Is this my hand? Body-ownership and the rubber hand illusion

S. Shibuya, S. Unenaka and Y. Ohki 213

Skeletal muscle signaling response to concurrent endurance and resistance exercise

Y. Makanae, R. Ogasawara and S. Fujita 217

Regular Articles

Technetium-99m sestamibi retention in skeletal muscles, a potential indicator of mitochondrial function and anaerobic threshold in patients with type 2 diabetes

S. Sato, T. Kato, S. Otsuki, S. Tanaka, N. Nakayama, S. Makita and R. Nohara 223

Phosphorylation of Hsp25 at serine 15 is promoted in immature fibers following *in situ* muscle contraction

F. Kawano, T. Shibaguchi, N. Nakai, K. Nakata and Y. Ohira 231

Effects of short hypoxic pre-exposure on physiological responses to subsequent hypoxic exercise

Y. Kubota, C. Fukusaki, S. Okaneya, T. Maegawa and K. Narita 241

Short Communication

Suitability of modified tandem-bicycle ergometer for the improvement of physical fitness and athletic performance

S. Onodera, A. Yoshioka, H. Yamaguchi, N. Matsumoto, K. Nishimura, H. Kawano, T. Saito, K. Arakane, S. Hayashi, Y. Takagi, T. Wada, M. Murata, K. Seki, Y. Nose, W. Baik, K. Katayama and F. Ogita 249

Abstracts

The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine (JPFSM)

Vol. 4, No. 2 May 2015

Review Articles

体温上昇による換気亢進：特徴と中枢性疲労への影響

静岡県立大学短期大学部 (p. 143-149)

林 恵嗣

体温上昇が換気を亢進させることが初めて報告されたのは100年以上も前になる。その後、この体温上昇による換気亢進反応の特徴、メカニズムおよび生理的意義などが徐々に明らかとなってきた。例えば、この換気亢進反応には熱放散反応（発汗や皮膚血管拡張）と同様に深部体温閾値があるが、熱放散反応に対して影響を及ぼすいくつかの因子はこの換気反応には影響しないことが明らかとなっている。その一方で、いくつかの研究からこの換気反応と熱放散反応との間に何らかの関係がみられることも報告されている。さらに、近年では体温上昇による換気亢進が、暑熱下における運動パフォーマンスの一因と考えられている中枢性疲労に関連することも示唆されている。実際に、体温上昇による換気亢進によって脳血流量が減少し、これが脳における酸素供給や熱除去を低下させることも報告されている。本総説では、体温上昇によ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。

健常・疾患における活動筋反射とその機能生成のメカニズム (p. 151-160)

鳥取大学医学部

木場智史

運動時にみられる骨格筋から惹起する反射（活動筋反射）は、運動時交感神経賦活の一生成メカニズムである。本総説では、主に動物実験で得られた知見から、活動筋反射が惹起するメカニズムを概説した。特に、骨格筋収縮に起因した化学的・機械的刺激が筋感覚神経の発火増大に果たす役割について紹介した。筋収縮による代謝産物は筋感覚神経を刺激するだけでなく感受性を増強する作用をもつことについても考察した。さらに、活動筋反射の活性化に必要とされる循環中枢部位についても説明した。本総説ではまた、主に疾患モデル動物を用いた実験結果から、心不全・高血圧において活動筋反射の機能を異常にするメカニズムについて紹介した。心不全では筋代謝受容器反射が減弱する一方で筋機械受容器反射が増強する。高血圧では筋代謝・機械受容器反射の両方が増強する。これらの活動筋反射機能不全をもたらす骨格筋中の因子について考察した。

知覚および運動に關与する注意の神経機構：神経活動からネットワークへ (p. 161-169)

自然科学研究機構生理学研究所

木田哲夫, 柿木隆介

ヒトは多感覚環境から入力される感覚刺激および内的行動に対して注意を適応的に向ける。この注意の働きが

損なわれたときの影響は多大である。注意の働きは近年の運動・スポーツ科学で注目を集めており、注意の機能および注意に関連する脳活動が定期的な運動やスポーツ活動により改善することが報告されつつある。しかし、注意の機能および神経機構については未だ不明な点も多い。本総説では、脳波・脳磁図を用いて注意の神経機構をしらべた最近の研究を紹介した。脳波・脳磁図はヒトの脳におけるニューロン群の同期的活動を電場・磁場として記録したものである。神経活動そのものの記録であるため、機器としての時間分解能だけでなく生体としての時間分解能にも優れた手法である。本総説では単一感覚系内、感覚系間、感覚系超の注意効果および運動への注意による刺激処理の調節に関するデータを紹介した。また近年、複雑ネットワーク解析（グラフ理論解析）をニューロイメージングデータに導入し得られた、注意制御に関わる脳内ハブ領域の最新研究を紹介した。これらの知見から、前頭前野は脳の情報処理を制御する重要な中枢（ハブ）として働くこと、および前頭前野からの感覚系非依存的な注意制御信号により大脳感覚野における早期感覚処理は空間選択的に調節を受けると推察された。

筋肥大・筋萎縮におけるカルシウムシグナルの役割

国立精神・神経医療研究センター (p. 171-176)

伊藤尚基, 武田伸一

骨格筋は自信の活動状態に応じ、環境に適した筋重量を維持している。タンパク質の合成と分解、およびそれによって生じる筋肥大と筋萎縮を制御する細胞内シグナル分子やシグナル経路を対象とした研究は数多いが、それら分子・シグナル経路の上流制御因子に関しては未だ不明瞭な点が多い。本稿では、骨格筋における可塑性の制御因子としてのカルシウムシグナルについて概説し、骨格筋重量を制御する上での将来的な治療ターゲットとなる可能性を提示した。

急性および慢性寒冷曝露に伴う運動パフォーマンスの変化と適応 (p. 177-185)

¹千葉工業大学工学部, ²Finnish Institute of Occupational Health, ³University of Portsmouth若林 斉¹, Juha Oksa², Michael J Tipton³

寒冷環境における運動パフォーマンスの低下とその機構を述べた。寒冷環境での身体活動では、発揮張力・速度・パワー・巧緻性などが低下して運動や労働のパフォーマンスが制限される。従来、筋温27℃付近で等尺性最大発揮筋力が低下し始める閾値温度と推定されていること、最大下等尺性運動の持久能は筋温27-28℃付近で最高となり、それよりも低温あるいは高温の条件では持久能力が低下することが知られている。一般に、動的運動は特に速い動きほど等尺性運動よりも冷却に伴うパフォーマンス低下が著しいとされている。本総説では、このような寒冷環境下の運動パフォーマンス低下に加え

て、寒冷適応が運動パフォーマンスに及ぼす影響とその機序について考察した。寒冷下で生じる不随意的な筋収縮の震えは精細な運動制御を妨げるが、寒冷曝露を繰り返すことにより震え反応を順化させると寒冷下での運動パフォーマンス低下を抑制する可能性について述べた。また、手部などの局所的な寒冷適応後に見られる寒冷血管拡張反応の亢進および皮膚温の上昇が寒冷下での巧緻性を向上させる可能性についても考察した。寒冷適応と運動パフォーマンスの関係についてはまだ十分に知られていないが、今後さらに検討する必要がある。

身体活動と生活介入 (p. 187-195)

¹大阪工業大学工学部, ²熊本県立大学環境共生学部
西脇雅人¹, 松本直幸²

本総説では近年の身体活動の状況に関する研究結果を要約し、介入の効果的な方法を紹介した。2003~2012年に実施した我々の連続横断研究のデータでは、過去10年間の歩数の低下は主に携帯電話やコンピューターの使用とテレビゲームの実施の増加に起因していることが示唆された。つぎに、我々はゲーム機能付き活動量計あるいは活動量計とTwitterを使った生活介入が身体活動量と身体組成に与える影響について検討した。その結果、このような2つの戦略を使った生活介入が活動量計のみを用いる場合に比べてより効果的に日常の身体活動量を増大させると共に、体脂肪を低下させる可能性が示唆された。さらに、身体活動の変化と体脂肪の変化は有意に相関していることが観察された。最後に、大学体育の受講生に対して歩数計を用いた身体活動量を増大させる効果的な方法を検討するため、無作為介入研究を行った。その結果、歩数計を用いて友人との競い合いや励まし合いを誘起することが、より効果的にサッカーの授業中の歩数を増大する知見を得た。以上より、本総説で紹介した知見は身体活動基準2013やアクティブガイドの充足に対する有益な情報を提供するものである。

ヒト二足歩行の反射制御機構：多種の感覚入力収束するヒト共通介在ニューロンの存在とその機能

(p. 197-211)

¹杏林大学医学部, ²University of Brasilia, ³千葉大学教育学部, ⁴University of Victoria, ⁵International Collaboration on Repair Discoveries (ICORD)

中島 剛¹, Rinaldo A. Mezzarane², 小宮山伴与志³, E. Paul Zehr^{4,5}

歩行に関わる神経システムの出力は、一部、脊髄介在ニューロンを介し、最終共通路である運動ニューロンに伝達される。近年、これら介在ニューロン系は、脊髄障害後、代替神経システムとして再構築される可能性があり、運動機能回復に重要であると考えられている。そこで本総説では、さまざまな感覚神経から共通入力を受けるヒト脊髄介在ニューロン系に着目し、歩行運動中に顕在化されるその神経回路の活動動態を概説した。また、これら神経システムの活動を可視化する方法(多シナプス性脊髄反射の空間的促進法)とその生理学的背景を詳しく述べた。併せて脊髄損傷者や脳血管障害患者に対する多重の神経束同時刺激による歩行機能回復への応用が可能か否かを考察した。

Short Review Articles

これは私の手？身体所有感とラバーハンド錯覚

(p. 213-216)

杏林大学医学部統合生理学

渋谷 賢, 畝中智志, 大木 紫

ヒトにとって自らの身体(部位)は自己に属し、外界から切り離された統一的かつ首尾一貫した存在として感じられる。そのため、この身体所有感は自己意識にとって重要である。健康者の身体所有感をしらべる方法として、ラバーハンド錯覚と呼ばれる身体錯覚が用いられてきた。通常ラバーハンド錯覚では、自己の手を視覚的に遮断された被験者が等身大の人工手(ラバーハンド)を見る。ラバーハンドと実際の手の両方に触覚刺激を同期して加えると、まるでラバーハンドの方が自己の手であるかのような錯覚が生じる。このラバーハンド錯覚は、質問紙による自己報告(主観的尺度)や錯覚後に自己の手の位置判断がラバーハンド側へ偏る固有感覚ドリフト(客観的尺度)によって実証されている。一般に、ラバーハンド錯覚の誘発は二つの制約を受ける。一方は視覚と触覚の同期性であり、他方は多感覚入力と身体表象の間の整合性である。また、ラバーハンド錯覚は視覚と運動の相関によっても誘発される。すなわち、自己の手の動きに同期して動くラバーハンドを見ることが同様の錯覚を引き起こす。この種のラバーハンド錯覚では、身体所有感に加えて、行為の主体者は自己であるという運動主体感も生じる。神経画像研究は、ラバーハンド錯覚が前頭-頭頂ネットワークを含む広範囲な脳領域と関連することを示している。ラバーハンド錯覚の蓄積証拠は私たちの直感に反して身体所有感が極めて柔軟に変化し、脳が自己の身体ではないオブジェクトを自らの身体として取り込めることを示唆している。本稿ではこのような現象について考察した。

コンカレント運動に対する骨格筋シグナル伝達応答

(p. 217-221)

¹立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構, ²立命館大学スポーツ健康科学部, ³東京大学大学院総合文化研究科

蒔苗裕平^{1,2}, 小笠原理紀³, 藤田 聡²

レジスタンス運動(RE)と有酸素性運動(EE)を組み合わせて実施するコンカレント・トレーニングは、筋機能・心肺機能向上を目的として広く行われている。しかし、多くの研究においてコンカレント・トレーニングによる骨格筋の適応について検討されているものの、一致した見解は得られていない。REとEEは筋収縮様式に応じてそれぞれ特異的なシグナル伝達を引き起こす。REはmammalian target of rapamycin complex 1 (mTORC1)シグナルを、EEはAMP-activated protein kinase (AMPK)シグナルをそれぞれ主に活性化させることが知られている。このような異なる運動によるシグナル伝達の活性化は干渉し合う可能性が考えられる。したがって、コンカレント・トレーニングによる骨格筋の適応に関する知見の不一致は、REとEEによるシグナル伝達の相互作用の違いによって説明できるかもしれない。本総説では、REとEEによるシグナル伝達の活性化についてそれぞれ示し

た上で、コンカレント・トレーニングを行った際のシグナル伝達の相互作用について述べた。

Regular Articles

2型糖尿病患者における骨格筋テクネシウム99m MIBI カウント (ミトコンドリア機能指標) と無酸素性作業閾値 (p. 223-229)

¹大阪産業大学人間環境学部, ²田附興風会北野病院, ³埼玉医科大学国際医療センター, ⁴枚方公済病院

佐藤真治¹, 加藤貴雄², 大槻伸吾¹, 田中史朗¹, 中山法子², 牧田 茂³, 野原隆司⁴

2型糖尿病 (DM) 患者の骨格筋における Technetium-99m sestamibi (MIBI) カウント (ミトコンドリア機能指標) をしらべた。本研究では, DM患者の骨格筋MIBI カウントは非DM対照群と比べて低下し, その低下は無酸素性作業閾値 (AT) の低下に反映されるとの仮説を検証した。対象はDM群 (11名) と非DM対照群 (8名) とした。すべての対象にはMIBIシンチ検査に引き続き, 心肺運動負荷試験 (CPX) を実施した。DM群の骨格筋MIBIカウントは非DM対照群に比べて有意に低かった。最高酸素摂取量 (peak $\dot{V}O_2$) およびATもDM群が非DM対照群に比べて有意に低かった。また, 骨格筋MIBIカウントは, peak $\dot{V}O_2$ とATのいずれにも相関がみられた。さらに, 外れ値の一対象をデータから除くと, peak $\dot{V}O_2$ との関連は失われたが, ATとの関連は維持された。以上の結果より, DM患者の骨格筋MIBIカウントは非DM対照群と比較して低く, その低下はAT低下に反映される可能性が示唆された。

再生筋における収縮負荷は未熟な筋線維のHsp25リン酸化を促進する (p. 231-239)

¹大阪大学大学院医学系研究科, ²大阪大学大学院生命機能研究科, ³同志社大学スポーツ健康科学研究科

河野史倫¹, 芝口 翼², 中井直也¹, 中田 研¹, 大平充宣³

ストレス応答性タンパク質であるHsp25は, 骨格筋線維においてメカニカルストレスによりリン酸化され細胞骨格の保護などに関与することが知られている。我々は, 肥大中の骨格筋ではHsp25の15番目セリンが選択的にリン酸化 (p-Ser15) されることを既に報告した。しかし, p-Ser15が筋形成にどのような役割を果たすのか詳細は未だ不明である。そこで本研究では, 損傷後の再生筋においてどのような細胞 (筋線維) にp-Ser15が発現するのかを明らかにすることを目的とした。成熟ラットのヒラメ筋をカルジオトキシン注入により損傷させ, 14日間の筋再生を促した後, 筋分化マーカーとの共局在を組織化学的に検討した。その結果, 損傷後14日目の再生ヒラメ筋には, p-Ser15を強発現する小型の細胞が多数認められた。これらは, 衛星細胞マーカーであるPax7陰性であるものの, 筋分化マーカーであるmyogenin陽性であった。全てのp-Ser15陽性細胞にはdesminおよびactininが発現していたが, 約半数のp-Ser15陽性細胞ではdystrophinの周辺局在が認められなかった。したがって, 筋再生中に出現する小型のp-Ser15陽性細胞が未熟な筋線維であることが明らかである。さらに, 損傷後14日目のヒラメ筋を坐骨神経刺

激により収縮負荷し, p-Ser15発現がどのように影響されるのか検討した。収縮負荷により, p-Ser15の発現量は有意に増大した。このような変化は, 筋線維横断面積 $300\mu\text{m}^2$ 以下の小型細胞において顕著であることも分かった。以上の結果から, 再生中の未熟な筋線維がp-Ser15を強発現するのはこれらの細胞が収縮負荷に対して応答しやすいためであると示唆された。

短時間低酸素環境曝露がその後の低酸素環境下運動時の生体応答に及ぼす影響 (p. 241-248)

¹東京大学大学院新領域創成科学研究科, ²国立スポーツ科学センタースポーツ科学部, ³日本体育大学スポーツ医学研究室

久保田善彦¹, 福崎千穂¹, 岡根谷真平¹, 前川剛輝^{1,2}, 成田和穂³

高所登山では, 車などでアクセスできる山の中腹にしばらく留まり, 低酸素環境に身体を慣らしてから登山をスタートすることが多い。このような短時間の滞在の効果については研究報告が少ない。そこで本研究では, 短時間低酸素環境曝露がその後の低酸素環境下での運動時生理応答に与える影響について検討した。13名の若年男性が常圧環境室内で60分間座位安静を保ち, その後低酸素ガスを吸引しながら漸増負荷自転車こぎ運動を15分間行った (負荷5段階)。常圧環境室内の酸素濃度は, 低酸素 (16.7% O_2) あるいは常酸素 (20.9% O_2) の2条件とし, 漸増負荷自転車こぎ運動中の低酸素ガス濃度は16.7% O_2 とした。すべての被験者は2条件の試験を実施した。二元配置分散分析 (酸素濃度 \times 運動強度) の結果, 運動中の心拍数, 二酸化炭素排出量, 主観的運動強度に有意な酸素濃度の効果が認められた。分時換気量, 二酸化炭素排出量に有意な交互作用が認められた。Post hocテストで, これらの指標の低酸素曝露後の値と常酸素曝露後の値を運動負荷段階ごとに比較した結果, 負荷2段階目の心拍数にのみ有意差が認められた。また, 最高酸素摂取量と負荷5段階目における動脈血酸素飽和度の低酸素曝露後の値と常酸素曝露後の値の比との間に有意な負の相関関係が認められた。本研究では, 短時間低酸素曝露がその後の低酸素環境下での運動時生理応答に及ぼす影響については, post hocテストでは明確にできなかったが, 最高酸素摂取量が相対的に高い人ほど常酸素曝露後に比べ低酸素曝露後の運動中動脈血酸素飽和度がより低下していることが示された。

Short Communication

体力及び競技力向上のための新しいタンデム自転車エルゴメータの妥当性の検証 (p. 249-251)

¹川崎医療福祉大学, ²岡山大学, ³吉備国際大学, ⁴就実短期大学, ⁵広島工業大学, ⁶国士舘大学, ⁷川崎医療福祉大学大学院, ⁸岡山県立総社高等学校, ⁹帝塚山大学, ¹⁰流通科学大学, ¹¹安田女子大学, ¹²広島YMCA専門学校, ¹³名古屋大学, ¹⁴鹿屋体育大学

小野寺 昇¹, 吉岡 哲², 山口英峰³, 松本 希⁴, 西村一樹⁵, 河野 寛⁶, 斎藤辰哉⁷, 荒金圭太⁸, 林 聡太郎¹, 高木祐介⁹, 和田拓真⁷, 村田めぐみ⁷, 関 和俊¹⁰, 野瀬由佳¹¹, 白 優寛¹², 片山敬章¹³, 荻田 太¹⁴

タンDEM自転車エルゴメータはシングルおよびタンDEM・エクササイズによる呼吸循環応答シグナリングの違いを明確にするため、さらに1つの負荷に対する相互依存の定量化が可能であるか否かを明確にするため、本研究ではタンDEM自転車エルゴメータの開発を行った。この目的を果たすためには、最大下の運動強度におけるタンDEMエルゴメータと併せて一人乗りの自転車エルゴメータが同じ呼吸循環機能の反応を示すか否かを明らかにすることが不可欠となる。そこで我々は、呼吸循環機能の反応を3つの条件下（自転車エルゴメータを用いた条件、タンDEM自転車エルゴメータの前乗り条件、タンDEM自転車エルゴメータの後乗り条件）で比較・検討した。11名の健康な男性（年齢：21.0±1.1歳，身長：170.0±4.7cm，体重：64.6±3.1kg， $\dot{V}O_2\text{max}$ ：48.4±2.2ml·kg⁻¹·min⁻¹，M±SE）を被験者とした。被験者

は、3つの運動強度（1.5，2.0，2.5kp）の自転車漕ぎを15分（各5分間）行った。ペダル回転数は、60bpmとした。心拍数、酸素摂取量、主観的運動強度をそれぞれの運動強度の終了1分前から1分間において測定した。心拍数および酸素摂取量は3つの条件で有意な差がなかった。心拍数の変動係数は3.0%から4.8%、酸素摂取量の変動係数は4.2%から5.1%の範囲であった。先行研究では、トレッドミル走行時の心拍数と酸素摂取量の変動係数を1.0%から10.7%、1.9%から11.0%と報告されている。本研究の変動係数と先行研究の変動係数の比較から、タンDEM自転車エルゴメータにおける生理的反応の変動係数は信頼できる値であった。これらの結果より、1人乗り自転車エルゴメータと新しく作成したタンDEM自転車エルゴメータで行った運動の呼吸循環機能反応が同等であることが示唆された。