
The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine (JPFMSM)

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

Volume 1, Number 3 September 25, 2012

CONTENTS

Review Articles

Mental processes and breathing during exercise

T. Yunoki357

Behavioral neuroscience of emotion and exercise

I. Kita363

Cognitive neuroscience of motor learning and motor control

H. Masaki and W. Sommer369

Recent advances in the adaptations of adipose tissue to physical activity: Morphology and adipose tissue cellularity

T. Izawa, J. Ogasawara, T. Sakurai, S. Nomura,
T. Kizaki and H. Ohno381

Variable factors of total daily energy expenditure in humans

K. Ohkawara, Y. Hikiyama, T. Matsuo, EL. Melanson and
M. Hibi389

Recent research developments in regeneration of skeletal muscle

K. Sakuma and A. Yamaguchi401

Transporter-centric view of urate metabolism: From genome-wide association study to pathophysiology

H. Sakurai413

Multipotency and physiological role of skeletal muscle interstitium-derived stem cells

T. Tamaki423

Cardiovascular regulation during exercise – Contribution of peripheral reflexes

M. Ichinose, K. Watanabe, N. Fujii and T. Nishiyasu437

Effects of the “live high-train high” and “live high-train low” protocols on physiological adaptations and athletic performance

I. Muraoka and Y. Gando447

Exercise, diet, and weight loss

K. Tanaka, R. Shigematsu, T. Henwood and H. Sasai457

Measures of physical activity and exercise for health promotion by the Ministry of Health, Labour and Welfare

M. Miyachi467

Skeletal muscle fiber plasticity: Heat shock proteins and satellite cell activation

Y. Oishi and T. Ogata473

Modification of thermoregulatory response to heat stress by body fluid regulation

A. Takamata479

Status of physical activity in the Japanese population

S. Tanaka491

Exercise prescription for fat metabolism disorder – From the viewpoint of fat oxidation rate

S. Sakamoto, M. Konishi, HK. Kim, N. Endoh,
M. Takahashi, S. Takagi and T. Midorikawa499

Mechanisms of exercise-induced muscle damage and fatigue: Intracellular calcium accumulation

Y. Kano, T. Sonobe, T. Inagaki, M. Sudo and
DC. Poole505

Mechanisms of post-contraction activation in skeletal muscle

A. Uematsu, H. Sekiguchi, H. Kobayashi, K. Tsuchiya,
T. Hortobágyi and S. Suzuki513

Short Review Articles

Respiratory muscle fatigue modulates the circulatory response to exercise

K. Katayama and M. Amann523

The effects of exercise on adipokines -Focus on circulating adiponectin level in human studies-

S. Numao531

Exercise and skeletal muscle regeneration

M. Kurosaka and S. Machida537

Accumulating exercise and postprandial lipaemia

M. Miyashita, SF. Burns and DJ. Stensel541

Spatial perception and vestibular function

K. Kushiro547

Abstracts

The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine (JPFSM)

Vol. 1, No. 3 September 2012

Review Articles

運動時における心的過程と呼吸の関係 (p. 357-362)

北海道大学大学院教育学研究院人間発達科学

柚木孝敬

運動時の呼吸は、生体内部環境における水素イオン濃度の恒常性を維持するうえで必要不可欠な生理機能である。一般的に、運動に対する換気応答は実行される運動の強度とそれに伴う神経性・液性要因の変動に応じて自動的（無意識的）に制御されると考えられている。しかしながら、覚醒下にある人間においては、身体運動を行なうという行為がモチベーション、努力、情動などといった意識的要素と結合している。このことは、運動時の換気制御もまたそのような心的過程と不可分の関係にあることを意味している。換気制御と意識的要素の間の不可分性に関して、神経性・液性要因に加えて、心理・行動性要因の重要性を明らかにする心理学的および神経生理学的データが蓄積されてきている。本総説では、換気制御と意識要素の間の不可分性が検討されている先行研究を概観し、心的過程が運動時の換気制御あるいは水素イオン濃度の恒常性維持においてどのような役割を果たしているのか考察した。

運動と情動の行動神経科学 (p. 363-367)

首都大学東京大学院人間健康科学研究科

北 一郎

最新の神経科学研究は、身体運動が脳内のモノアミンや神経成長因子の変化、シナプス可塑性や神経新生の増加、神経活動や細胞内情報伝達物質の変化を引き起こすことを明らかにしてきており、情動調節に関連する中枢神経系におけるこれらの形態的・機能的変化が、ストレス軽減、気分の高揚、抗うつ・抗不安作用などの心理的健康状態に重要な役割を果たしている可能性を示唆している。しかし、脳・神経系および行動に対する身体運動の恩恵効果に関する証拠は増加してきているものの、その背景にある神経メカニズムについては未だ明らかにされているとはいえない。そこで本総説では、情動調節に関連する脳・神経系と身体運動との関連から、身体運動がどのようにしてストレス、気分、うつ、不安などの情動性機能を調節するのかについて議論した。

運動学習と運動制御の認知神経科学 (p. 369-380)

¹早稲田大学スポーツ科学学術院, ²Institut für Psychologie, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Germany

正木宏明¹, W. Sommer²

本総説では、非侵襲的脳機能測定法によって明らかになってきた運動学習と運動制御に関する脳認知機能を概観した。運動制御と学習についての定義、実験課題、従来の重要知見、理論等について言及した。事象関連電位や脳機能イメージングを用いた研究知見に基づき、運動

準備とパフォーマンスモニタリングの重要性を強調した。

身体活動に対する脂肪組織の生物学的適応に関する最近の進歩：脂肪組織のモルフォロジーとセルラリティー

(p. 381-387)

¹同志社大学大学院スポーツ健康科学研究科, ²杏林大学医学部衛生学公衆衛生学, ³大阪市立大学医学部老年医学・脳神経学

井澤鉄也¹, 小笠原準悦², 櫻井拓也², 野村幸子³, 木崎節子², 大野秀樹²

白色脂肪組織 (WAT) は皮下 (SAT) や内臓組織の周囲 (VAT), 心臓の周囲, 骨格筋内など身体の様々な部位で見られる。脂肪組織に発現する発生パターン形成と関わる遺伝子発現がVATとSATで異なり, これらの遺伝子発現の違いが肥満の程度や脂肪組織の分布パターンの違いと関係していることが次々と明らかになってきている。さらに, 中胚葉系幹細胞からの脂肪細胞への分化も発生遺伝子の修飾を受け, これらの遺伝子群にはノーダル, ウイングレス, 繊維芽成長因子 (FGF), 骨形成タンパク質 (BMP) などがあり, BMPとFGFファミリーはエネルギー代謝の恒常性にも関わっていることが示唆されてきている。しかしながら, このような発生遺伝子が運動トレーニング (TR) によってもたらされるWATの形態学的変化に関わっているのか否かについては全く分かっていない。一方, TRによってWATの脂肪細胞数が少なくなったとき, 脂肪組織由来幹細胞を含む間質血管細胞において, 脂肪前駆細胞因子1のmRNA発現増加とペロオキシソーム増殖剤応答受容体 γ のmRNA発現低下がみられる。これらの変化は, 低酸素誘導因子 α の発現増加によって起こり, 血管内皮成長因子Aやその受容体の発現増加ももたらしているのかも知れない。本総説は, 身体活動に対する脂肪組織の生物学的適応に関する最近の進歩について, 脂肪組織のモルフォロジーとセルラリティーに焦点を当てて解説した。

ヒトにおける1日の総エネルギー消費量の変動要因

(p. 389-399)

¹電気通信大学情報理工学部, ²国立健康・栄養研究所基礎栄養研究部, ³千葉工業大学工学部, ⁴宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 宇宙飛行士運用技術部, ⁵Division of Endocrinology, Metabolism, and Diabetes/Division of Geriatric Medicine, University of Colorado Anschutz Medical Campus, ⁶花王株式会社ヘルスケア食品研究所 大河原一憲^{1,2}, 引原有輝^{2,3}, 松尾知明⁴, E.L. Melanson⁵, 日比壮信⁶

1日におけるエネルギー摂取量の過多がエネルギー消費量に対してわずかであったとしても, その状態が数年にわたると体重増加を招くことが報告されている。そのため, エネルギーバランスの変動要因を理解する

ことは、肥満抑制の手段を講じるにあたり重要である。そこで、本総説の目的は、1日の総エネルギー消費量(TDEE)の観点から、その変動要因について議論することである。TDEEは、安静時代謝(RMR)、食事誘発性体熱産生(DIT)、身体活動によるエネルギー消費(PAEE)により構成されている。RMRはTDEEの最も大きな構成要素で約60%を占める。またその残りは、約10%がDIT、約30%がPAEEで構成されている。RMRは主に体格と体組成でその大きさを説明することができる。DITの主な決定要因は食事摂取量とその栄養組成であるが、体格や年齢も要因のひとつとして考えられている。PAEEは運動(EXEE)と非運動性身体活動(NEAT)によるエネルギー消費に区別することができる。EXEEは主に体格、運動強度、運動時間に依存する。加えて、運動後代謝亢進が総EXEEの大きな変動要因として考えられている。しかしながら、多くの対象者において、TDEEに対するEXEEの寄与はそれほど大きくないことが先行研究により報告されている。一方、NEATはTDEEの最も大きな変動要因であり、体格に近い対象者間で比較した場合でも、1日2000kcal程度の差異が認められている。以上から、TDEEの各構成要素において、異なるさまざまな変動要因が認められており、TDEEの変動に対する各要因の寄与はわずかであっても、それらがそれぞれ影響をおよぼすことで大きなエネルギーインバランスが生じるかもしれない。

骨格筋修復における最近の研究展開 (p. 401-411)

¹豊橋技術科学大学体育・保健センター、²北海道医療大学 佐久間邦弘¹、山口明彦²

この10年間、骨格筋の修復機構に関する研究が急激に伸展し、我々の理解も深まった。衛星細胞(Satellite cell)は骨格筋にのみ存在する幹細胞で、基底膜の下に位置している。筋修復には、衛星細胞の活性化、増殖、分化の3つの行程が含まれる。この高度に組織化された筋修復機構は、生体内の様々な分子が密接に関係し合って完了される。実際にインシュリン様成長因子、肝細胞増殖因子、白血球増殖阻止因子、Wntは衛星細胞の活性化および増殖を調節する。PI3-K/Akt/mTOR経路、カルシニューリン、筋分化促進因子(serum response factor)は、衛星細胞の分化を制御する。一方ミオスタチンは、FOXOおよびSmad 2/3分子を活性化して、衛星細胞の増殖および分化を阻害する。本総説では、骨格筋修復に関する最近の知見について記述した。

トランスポーターからみた尿酸代謝：ゲノムワイドアソシエーションスタディから病態生理へ (p. 413-422)

杏林大学医学部薬理学

櫻井裕之

尿酸は、人体において抗酸化力を持つ主要な分子の一つであるが、その水溶性の低さのため、高尿酸血症は痛風や尿路結石といった病気の原因となる。尿酸はプリン体の最終代謝産物であるため、体外へ排泄されるのが唯一の除去経路である。血中の尿酸が体外へ排泄される過程で、細胞膜を通過しなければならないが、尿酸は負に荷電しているため単純拡散による細胞膜の通過は困難である。このような荷電分子の通過経路として、細胞膜に

はトランスポーターとよばれる輸送体蛋白がある。尿酸排泄の主要器官である腎臓の近位尿細管では、尿酸特異的なURAT1とURATv1というトランスポーターが尿酸吸収路を形成し、広範な輸送基質をもつOAT1/3、NPT1/4というトランスポーターが尿酸分泌路を形成する。URAT1あるいはURATv1の変異は腎性低尿酸血症や運動誘発性急性腎不全をきたす。まれな疾患ではあるが、スポーツ医学関係者には知っておいていただきたい。腎臓以外では、URATv1が肝臓から血中への尿酸輸送に、またABCG2というトランスポーターが尿酸の腸管への排泄に重要な役割を果たしている。このような尿酸トランスポーターの同定には、高尿酸血症や痛風と関連ある一塩基多型(Single nucleotide polymorphism: SNP)を見つける、ゲノムワイドアソシエーションスタディ(GWAS)が有用であった。その一方、GWASで同定されたトランスポーターの役割を解明するには、細胞生物学・生理学的な研究が重要であることも本総説では強調した。

骨格筋間質由来多能性幹細胞の多分化能とその生理学的役割 (p. 423-436)

東海大学医学部基盤診療学系再生医療科学

玉木哲朗

骨格筋間質に、細胞系譜上サテライト細胞の上流に位置し、筋芽細胞に分化可能な多能性幹細胞が存在することを明らかにした。その多能性幹細胞は、中胚葉系と外胚葉系の細胞系譜に分化可能であり、skeletal muscle interstitium-derived multipotent stem cells (Sk-MSCs)と考えられる。このSk-MSCsは、間質から抽出した際にはPax7陰性であり、培養すると活発にコロニー形成する特徴を有している。それらのコロニー中には筋芽細胞が存在し、従来のサテライト細胞が付着性を示すのに対し、非付着性を示す。さらに同一コロニー中には、非対称分裂により生じたPax7陰性・陽性の筋芽細胞が同時に存在し、筋管細胞形成時にはその表面にPax7陽性細胞が付随するとも明らかになっている。加えて特筆すべき点は、培養中でPax7陰性で非付着性を示す細胞群は基底膜を合成するが、逆に、Pax7陽性で付着性の細胞は合成しないことである。同様の現象が代償性肥大刺激下の筋内でも認められる。即ち、筋間質に存在する筋芽細胞は基底膜を合成するが、親線維の基底膜内の筋芽細胞(おそらくサテライト細胞)は基底膜を合成しないことが明らかとなった。基本的に、筋間質に新たな筋線維を作り、機能させるには、基底膜合成、サテライト細胞と毛細血管の付随、さらに神経入力が必要である。この点においても、Sk-MSCsは、骨格筋細胞の他に末梢神経系のシュワン細胞、神経周膜細胞、また、血管系の血管内皮細胞、周皮細胞、血管平滑筋に分化可能なため、極めて有利であると考えられる。従って、Sk-MSCsの生理学的役割は、発育・発達あるいは激しい筋力トレーニングに伴う後天的筋線維増殖(hyperplasia)の際に、その細胞ソースとして働き、新生筋線維合成とそれらに付随する神経-血管網の構築に貢献する細胞群であると考えられる。

運動時における循環調節－末梢反射の寄与－

(p. 437-445)

¹明治大学経営学部人間統合生理学, ²筑波大学大学院人間総合科学研究科, ³神戸大学発達科学部

一之瀬真志¹, 渡邊和仁², 藤井直人^{2,3}, 西保 岳²

静的および動的運動時には、血圧、心拍数、交感神経活動が増加する。これらの循環反応は、セントラルコマンドおよび活動筋からの反射性調節（筋機械受容器反射と筋代謝受容器反射）によって引き起こされるとともに、圧受容器反射（動脈圧受容器反射と心肺圧受容器反射）により調節されると考えられている。本総説では、運動時の循環調節における動脈圧受容器反射と筋代謝受容器反射の役割について考察した。前半において運動時における動脈圧受容器反射と筋代謝受容器反射の機能について概説した。後半では、動脈圧受容器反射と筋代謝受容器反射の相互作用について述べた。高強度の運動時には、動脈圧受容器反射と筋代謝受容器反射が同時に作用して、循環調節反応に相互作用を持つと考えられる。これまでに、2つのタイプの相互作用が報告されている。1つ目は、筋代謝受容器反射による昇圧反応に対する動脈圧受容器反射の拮抗作用である。2つ目は、筋代謝受容器刺激時における動脈圧受容器反射機能の変化である。これらの2つのタイプの相互作用について、最近の知見を含めて解説した。

生理的適応および競技パフォーマンスに及ぼす高地トレーニング（LHTH法およびLHTL法）の影響

(p. 447-455)

早稲田大学スポーツ科学学術院

村岡 功, 丸藤祐子

本総説では、競技選手を対象としてコントロール群（平地トレーニング群）が設定されている研究の結果に基づいて、従来型の方法（Traditional “Live High-Train High” protocol；LHTH法）と1990年以降に導入された新しい方法（Contemporary “Live High-Train Low” protocol；LHTL法）が、生理的適応および平地での競技パフォーマンスに及ぼす影響について概説した。その結果、LHTH法とLHTL法はほぼ同様の生理的適応を引き起こすと思われた。一方、平地での持続的パフォーマンスに対しては、LHTH法に比べて、LHTL法はより効果的であるように思われた。また、この方法はスプリント系種目に対しても効果的である可能性が示唆されている。これらの結果から、LHTL法は30秒～17分程度の運動に対して、1～4%程度の改善をもたらすと考えられる。しかし、最近行われたMeta-Analysisによって、LHTH法はエリート選手の最大パワー出力を向上させることが示唆されている。また、高地トレーニングによって得られる効果には、個人差が大きく関わっている可能性も考えられる。そのため、低酸素環境への適応や競技パフォーマンス向上に関わる個人差を早急に解明することが必要であると言える。そして、このことによって、今後は、個人個人の特徴に合わせて高度（酸素濃度）、滞在時間および滞在期間を調整することや、場合によってはLHTL法やLHTH法を適用するかどうかの可否を判断することも必要となろう。また、LHTLに Intermittent Hypoxic Trainingを組み合わせる方法につ

いても、今後、詳細に検討する必要がある。

運動、ダイエット、体重減少 (p. 457-465)

¹筑波大学体育系, ²三重大学教育学部, ³University of Queensland/Blue Care Research and Practice Development Centre, University of Queensland, ⁴Diabetes, Endocrinology, and Obesity Branch, National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, National Institutes of Health

田中喜代次¹, 重松良祐², Tim Henwood³, 笹井浩行⁴

日本は世界で最も高齢化が急速に進展している国である。“健康日本21”は日本政府が国民の生活習慣病予防、健康増進、豊かな老い（サクセスフルエイジング）実現を企図して策定した施策である。身体活動はすべての年齢層の中で最も活動量が少ない高齢者に推奨されるものであるが、それは特に虚弱化や慢性疾患の予防、そして社会保障費（医療費）高騰の抑制に対して効果的であることが期待されている。身体活動や運動の不足が一因となる肥満に対しては、以下のエビデンスが明らかとなっている。すなわち、有酸素性運動やレジスタンス運動、身体活動とともに、適正な食習慣（一定期間にわたり女性1200kcal, 男性1680kcalの食事）は、どの単独の介入方法よりも、体重減少、内臓脂肪減少、血圧改善、その他の健康関連指標の改善に対して効果的である。適正な食習慣と運動習慣化の組合せは、活力年齢を若く維持することにも有効である。これらのライフスタイル要因とともに、修正できる他の健康関連要因（ストレス、睡眠など）を上手くコントロールすることで、個人の肥満そして集団の肥満を是正し、国民の健康水準を高めることになると考えられる。

厚生労働省による健康づくりのための身体活動・運動施策 (p. 467-472)

独立行政法人国立健康・栄養研究所健康増進研究部

宮地元彦

我が国における歩数は過去10年間で1,000歩程度有意に減少し、また20歳～60歳の働き盛り世代の運動習慣者も減少傾向にある。これら身体活動・運動習慣の減少は、国民の健康を考える上で大きな懸念の一つである。平成25年度から新しい施策としてスタートする健康日本21（第2次）では、「歩数の増加」「運動習慣者の割合の増加」といった個人の目標に加え、身体活動・運動の重要性について認識しているが実行できないという人のために、「身体活動・運動しやすいまちづくり・環境整備に取り組む自治体の増加」のような地域や自治体の目標を定めた。国民の身体活動の活発化のツールである、運動基準の改定作業が行われており、新たに、高齢者の余暇身体活動（運動を含む）に関する基準値を定める、「今より1日15分だけ多く動こう」といった基準を提示する、歩数や時間などの理解しやすい表現にする、などの方向性が検討されている。健康日本21（第2次）や新しい健康づくりのための運動基準・指針を活用して、あらゆる社会資本の動員を図り、国民の身体活動・運動習慣を改善していくことが期待される。

骨格筋線維の可塑性：熱ショックタンパク質と衛星細胞の活性化 (p. 473-478)

¹熊本大学教育学部, ²広島修道大学人間環境学部
大石康晴¹, 緒方智徳²

骨格筋は細胞の傷害や破壊・変性に対する防御・再生システムを有している。運動による筋の収縮や熱ストレスを含む様々なストレスにより、骨格筋内では熱ショックタンパク質またはストレスタンパク質と呼ばれる特異的なタンパク質が合成される。多くの研究結果から、熱ショックタンパク質は傷害から筋を保護することや傷害をきたした筋の修復を助けることが知られている。破壊や変性をきたした骨格筋線維は元のサイズにまで回復しその機能を再生することができる。この筋線維の再生能力は、筋線維の基底膜と形質膜の間に位置する衛星細胞と呼ばれる特殊な細胞に大きく依存している。筋衛星細胞は骨格筋特異的な幹細胞として知られており、それが活性化、増殖、分化、融合することにより筋線維の肥大や再生に寄与している。本総説は、熱ショックタンパク質の機能的役割や衛星細胞の活性化を通じた骨格筋線維の再生プロセスに焦点を当てて概説した。

体液状態による体温調節機能の修飾 (p. 479-489)

奈良女子大学生生活環境科学系
鷹股 亮

体温調節系と体液調節系は、密接に相互作用して機能している。体温上昇時の体温調節反応である発汗及び皮膚血管拡張反応は、低血液量（圧受容器の脱負荷）及び高浸透圧を誘発して体液調節系の刺激となる。低血液量（圧受容器の脱負荷）、高浸透圧のいずれも体温上昇時の体温調節反応を抑制する。即ち、体液調節が体温調節よりも優先される。一方、浸透圧調節反応は体温上昇により亢進する。暑熱順化において血液量の増加、浸透圧性体温調節反応抑制の減弱が起こる。即ち、暑熱順化において体液調節の適応が重要な役割を果たす。本総説では、体液調節系と体温調節系の相互作用について議論した。

日本人における身体活動の現状 (p. 491-497)

独立行政法人国立健康・栄養研究所基礎栄養研究部
田中茂穂

ポピュレーションレベルでの身体活動量を調査するシステムは重要である。日本では、国民健康・栄養調査が毎年実施されてきており、歩数計で評価する一日当たりの歩数と、運動習慣に関する質問項目という2種類の身体活動評価が含まれている。年齢を補正した歩数については、1998 - 2000年をピークに、減少傾向がみられる。運動習慣者の割合は、50歳以上のグループにおいてのみ、増加している。

身体活動の標準値や目標値として、食事摂取基準では、身体活動レベル（総エネルギー消費量÷基礎代謝量）の標準値が、性・年齢階級別に示されている。成人において、“ふつう”の身体活動レベルは1.75となっている。さらに、「日本人のための運動基準2006」に基づいて、「日本人のための運動指針2006-エクササイズガイド2006」が発表されている。その基準値は、身体活動で23 METs・時/週、運動で4 METs・時/週となっており、

前者は、一日8000~10000歩の歩数に相当する。

このように、日本には身体活動や運動習慣の目標値があり、日本人における歩数調査も行われている。しかし、これらの標準値や目標値は、国家規模で評価された実際の身体活動に関する調査結果と、十分に結びつけられているとは言えない。そのため、日本人を対象とした身体活動量調査法の開発が必要である。

脂質代謝異常に対する運動処方-特に脂質酸化量の観点から (p. 499-504)

¹早稲田大学スポーツ科学学術院, ²東京医科大学健康増進スポーツ医学, ³桜美林大学健康福祉学群

坂本静男¹, 小西真幸¹, 金 鉉基¹, 遠藤直哉¹, 高橋将記¹, 高木 俊², 緑川泰史³

各種疾患、特に脂質代謝異常に対する運動の効果に関して、また脂質代謝異常に対する運動処方作成に関して、多くの研究報告がなされてきている。近年、特に1990年代後半からは、どのような運動内容（運動種目、運動強度、1回の運動継続時間）が脂質代謝異常に特に有用であり、そして運動中止後回復期の効果まで考慮に入れて、脂質代謝異常に有用な運動処方が検討されている。そのような研究の中で、脂質代謝異常に対する有益な効果の検討指標として脂質酸化量が増えようになっている。本総説では、これまでの国内外での運動と脂質酸化量に関する研究内容を紹介した。

運動誘発性の筋損傷と疲労の機序：細胞内カルシウムイオンの関与 (p. 505-512)

¹電気通信大学大学院先進理工学, ²国立循環器病研究センター心臓生理機能, ³福岡大学身体活動研究所,

⁴Departments of Anatomy & Physiology and Kinesiology, Kansas State University

狩野 豊¹, 曾野部崇², 稲垣薫克², 須藤みず紀³, David C Poole⁴

筋収縮による筋機能の低下や筋損傷は、細胞内のカルシウムイオンの継続的な増加や恒常性の欠如と関連づけて考えられてきた。これまでのin vitroモデルの知見に対して、最近のin vivoモデルでは、細胞内カルシウムイオンの蓄積について、異なる収縮タイプ（例えば、アイソメトリック、エキセントリック収縮）の影響を明らかにしている。エキセントリック収縮によるカルシウムイオン蓄積はアイソメトリックと比較して、その程度が大きく早い段階で起こる。エキセントリック収縮によるこの応答性の大部分は、細胞膜伸展性チャンネル(SAC: stretch-activated channels)が関与している。細胞質内の一時的なカルシウム蓄積は発揮張力の低下を引き起こす。ところが、エキセントリック収縮で生じる継続的な高濃度のカルシウムイオン蓄積はサルコメアや細胞膜の崩壊を伴う筋損傷を誘発し、その後にはアポトーシスやネクローシスを介した筋再生過程へと移行する。

筋活動直後の神経興奮状態 (p. 513-521)

¹大阪体育大学体育学部, ²上武大学ビジネス情報学部,

³早稲田大学人間科学学術院, ⁴Center of Human Movement Sciences, University Medical Center Groningen, University of Groningen

植松 梓¹, 関口浩文², 小林裕央³, 土屋和志³, Tibor Hortobágyi⁴, 鈴木秀次³

本総説は、ヒトの筋活動直後における神経系の興奮状態についてまとめたものである。当初、テタヌス筋収縮直後に脊髄の神経興奮性が増大することが動物実験モデルで確認された。そして、脊髄レベルの神経興奮性増大は、テタヌス筋収縮のみならず随意筋活動直後に覚醒ヒトモデルでも起こることが報告された。最近の研究によって、随意筋活動による脊髄レベルの神経興奮性増大は、短縮性筋活動と高強度の等尺性筋活動後に起こるが、伸張性筋活動後はその興奮性が減衰することが示された。また、筋疲労が発現するほど筋活動時間が長くなった場合も脊髄レベルの神経興奮性は減衰する可能性が示唆された。これらのことから、随意筋活動後における脊髄興奮性変化には筋活動様式、筋活動強度、および筋活動時間依存性があると推察される。さらに、報告数は少ないが、経頭蓋磁気刺激法を用いた研究によって随意筋活動直後は皮質脊髄路の興奮性が変化することが明らかにされている。そして脊髄レベルと同様に、そこにも筋活動強度や筋活動時間依存性が存在する可能性がある。

Short Review Articles

呼吸筋の疲労による運動時の循環応答への影響

(p. 523-530)

¹名古屋大学総合保健体育科学センター, ²VA Medical Center, Department of Medicine, University of Utah, USA.

片山敬章¹, M Amann²

呼吸系の働きは、酸素の供給と二酸化炭素の排出であり、このガス交換は横隔膜や肋間筋といった呼吸筋の収縮・弛緩により行われている。運動強度が高くなると、呼吸筋にも疲労が認められる。一般健康人の場合にはガス交換能力は十分な余力を持っているため、最大運動時においても換気量増加の制限要因とはならない。しかしながら、呼吸筋の疲労は代謝受容器反射によって筋交感神経活動や血圧の増加を引き起こし、活動筋への血流を制限する要因となる。本総説では、呼吸筋の疲労による運動時の循環応答、活動筋の疲労、持久的パフォーマンスへの影響について概説した。

アディポカインに対する運動の影響－ヒトの血中アディポネクチン濃度に着目して－ (p. 531-535)

京都薬科大学基礎科学系健康科学, 早稲田大学スポーツ科学研究センター

沼尾成晴

脂肪組織はエネルギーの貯蔵および恒常性維持のための重要な部位である。加えて、アディポカインと呼ばれる数多くの生理活性ペプチドおよびタンパクを産生・分泌する内分泌器官であることが知られている。アディポカインは直接あるいは間接的に肥満、II型糖尿病、心血管系疾患およびメタボリックシンドロームなどの代謝障害発症に関与する。これまで、数多くのアディポカイン（アディポネクチン、レプチン、腫瘍壊死因子 α 、インターロイキン6、レチノール結合タンパク質4など）が同

定され、それらの機能もまた解明されてきている。なかでもアディポネクチンはインスリン感受性、血管内皮機能の向上や脂質酸化の促進に関与することが知られている。有酸素性運動もまた同様の効果を有する。よって有酸素性運動の効果は血中アディポネクチン濃度の変化を介して引き起こされると想定される。本総説では、ヒトの血中アディポネクチン濃度に及ぼす有酸素性運動の影響について焦点を当てて概説した。

運動と筋再生 (p. 537-540)

¹東海大学体育学部生涯スポーツ, ²聖マリアンナ医科大学医学部生理学

黒坂光寿^{1,2}, 町田修一¹

筋損傷は、激しいレジスタンス運動や伸張性筋収縮など過度の運動、さらに肉離れや打撲などの外力によって生じる。しかし、骨格筋は高い再生能を有していることから、筋損傷後、数週間以内には再生される。筋損傷・再生過程は、主に骨格筋幹細胞と免疫細胞によって調節される。本総説では、筋再生に重要な役割を担っている筋サテライト細胞とマクロファージを中心に、細胞および分子機序の最近の知見について概説した。また、運動に対する筋サテライト細胞の応答についても述べた。

細切れ運動と食後高中性脂肪血症 (p. 541-545)

¹東京学芸大学教育学部芸術・スポーツ科学系, ²Nanyang Technological University, Physical Education and Sports Science Academic Group, ³Loughborough University, School of Sport, Exercise and Health Sciences

宮下政司¹, SF Burns², DJ Stensel³

心血管疾患は、先進国において主な死因である。血中からの中性脂肪の除去率低下と心血管疾患の危険性との間には関連性がある。身体活動は、食後中性脂肪を含む心血管疾患の様々な危険因子を改善することができる。公衆衛生のためのガイドラインでは、1回あたり最低10分の活動を数回に分けて実施する身体活動を推奨している。最近まで、この細切れ運動による食後高中性脂肪血症の改善については、限られた証拠のみであった。従って、我々は細切れ運動が食後高中性脂肪血症に及ぼす影響を検討するために一連の研究を行った。我々の一連の研究結果を実用的な視点に置き換えながら、食後中性脂肪を下げたい方に向けた内容として概説した。

空間識と前庭機能 (p. 547-550)

京都大学高等教育研究開発推進センター

久代恵介

ヒトは日常生活において無意識に逐次周囲の空間情報を取得している。得られた空間情報は、反射や空間識の形成に役立つ。空間内で正確な運動を遂行するには精度良く空間を知覚することが重要である。空間の知覚にはいくつかの感覚情報が関与している。眼球からの視覚、内耳・前庭器からの前庭覚、筋紡錘・腱紡錘等からの体性感覚などが挙げられる。とりわけ視覚は、意識下で情報を入力できる点から、有効な感覚情報と考えられる。しかしながら、身体が空間を移動/運動する際、視覚のみで正確な空間情報を得ることが困難な場面は少なく

い。視覚とともに、前庭覚、体性感覚からの情報が共に入力することにより、空間を常に精度良く知覚することを可能にしている。これらの感覚情報は並列して入力し、多くは脳幹・大脳辺縁系・大脳皮質において複雑な統合過程を経て、空間識を形成している。

視覚、前庭覚、体性感覚のうち、“五感”にこそ数えられないが、身体を巧みに制御する上で不可欠なのが前庭覚である。前庭は耳の奥、内耳に存在し、頭頸部に加えられた回転角加速度は前庭の半規管によって、直線加速度（重力軸からの傾きを含む）は耳石器によって感受される。前庭からの信号はいち早く中枢神経系に送られ、短潜時で“前庭反射”を誘発し姿勢や視野の安定に寄与する。これまで多くの研究により、前庭反射の中枢神経機構が明らかになっている。前庭情報は、前庭反射に貢献する一方、脳幹の前庭神経核・視床を介して大脳辺縁系や大脳皮質へと上行し、空間識の形成を担う。

ヒトの空間識獲得について、近年筆者らは、生後いつ、どのような要因により空間識が獲得されるのかについて

乳児を用いた心理実験を行った。生後数ヶ月の乳児では、重力方向に対して自然な方向へ移動するヒトの運動に比べ、自己の頭部座標に対して自然な方向に移動するヒトの運動を良く理解していることが解った。このことより、生後数ヶ月の乳児では重力軸（すなわち実空間）よりも自己の頭部座標を中心に空間を理解しており、空間識の獲得は外界との接触により後天的に経験により得られることが示唆された。

空間識と前庭との関係の解明について、筆者らは近年、他方からもアプローチを行っている。直立静止状態を維持している健常人に、姿勢の保持から注意を逸らす課題を課すと、重心動揺は増大せず、むしろ有意に小さくなった。このことから、正確な空間識の保持は単純な反射回路のみならず、高次脳機能が関与している可能性が示された。上述の通り、内耳の前庭器は五感にこそ数えられないが、空間の知覚・認識に重要な役割を担う器官であると考えられる。