
The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine (JPFMSM)

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

Volume 3, Number 2 May 25, 2014

CONTENTS

Review Articles

Neural correlates of remembering false memories in young and older adults: A brief review of fMRI studies

T. Tsukiura155

Role of carnitine acetylation in skeletal muscle

Y. Furuichi, N. Goto-Inoue and N.L. Fujii163

Role of the cerebellum in postural control

D. Yanagihara169

Health promotion with stair exercise

T. Takaishi, K. Ishihara, N. Shima and T. Hayashi173

Interlimb neural interactions in the corticospinal pathways

T. Tazoe and T. Komiyama181

Wave form of motor unit action potential recorded by surface electrode during voluntary muscle contraction

S. Morimoto and S. Takemori191

Short Review Articles

Role of activating-type Siglecs on myeloid cell function

T. Angata199

Effect of lower-body plyometric training on athletic performance and muscle-tendon properties

N. Sugisaki and S. Kurokawa205

Ingenious function of skeletal muscle as a secretory organ: Its crucial role for cancer prevention

W. Aoi211

Protection of the brain against heat damage

M. Matsuda-Nakamura and K. Nagashima217

Physiological relevance of protein-glycosylation to pathogenesis of diabetes

K. Ohtsubo and N. Taniguchi223

Satellite cell heterogeneity and hierarchy in skeletal muscle

Y. Ono229

How a neuron perceives visual motion during self-motion

S. Shimegi, S. Soma, N. Suematsu, R. Mizuyama,
Y. Tanaka and H. Fujie235

Influence of exercise and sports on bone

N. Omi241

Locomotor training using a wearable robot in patients with neurological disorders

K. Kamibayashi249

Facilitatory effects and behavioral benefits of nonconscious perception on human motor actions

K. Imanaka255

Regular Articles

Contributions of training and non-training physical activity to physical activity level in female athletes

A. Yoshida, K. Ishikawa-Takata, M. Taguchi, S. Nakae,
S. Tanaka and M. Higuchi261

Simultaneous multiple-subject analysis of respiratory gas exchange in humans

M. Hirano, Y. Yamada, M. Hibi, M. Katashima,
Y. Higaki, A. Kiyonaga and H. Tanaka269

Correction281

Abstracts

The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine (JPFSM)

Vol. 3, No. 2 May 2014

Review Articles

機能的磁気共鳴画像法からみた虚記憶の神経基盤と加齢の影響 (p. 155-161)

京都大学大学院人間・環境学研究所

月浦 崇

ヒトのエピソード記憶は加齢によって低下することはよく知られている。加齢によるエピソード記憶の変化には主に2つの側面がある。ひとつは以前に体験したエピソードを想起することが困難になること、もうひとつは以前に体験していないエピソードを誤って想起する虚記憶と呼ばれるものである。前者の加齢変化の神経基盤についてはこれまでに比較的研究が報告されているが、後者の加齢変化の神経基盤については未だに理解が十分に進んでいない。本総説では、虚記憶および虚記憶に対する加齢の効果について検証している機能的磁気共鳴画像(fMRI)研究をレビューし、その基盤となる脳内機構について検証した。健常若年成人を対象とした虚記憶に関するfMRI研究では、虚記憶の想起に関連する主な領域として外側前頭前野、前部帯状回を含む内側前頭前野、上頭頂小葉/下頭頂小葉の関与を示しており、これらの領域の相互作用の低下による記憶のモニタリング機能の低下が、虚記憶の想起の原因となることが示唆された。また、虚記憶の想起に関連する賦活で加齢による低下を示す領域は、外側前頭前野や前部帯状回、楔前部や後頭葉などの視覚関連領域において同定されており、健常高齢者において虚記憶が増加する原因として、記憶の想起システムとモニタリングシステムとの相互作用の低下が関連していることが示唆された。今後は、虚記憶と関連が深い「虚言」や「作話」などの認知機能と虚記憶とがどのように関連しているのかについてその脳内機構の研究が必要である。

骨格筋におけるカルニチンアセチル化の役割

(p. 163-168)

¹首都大学東京大学院人間健康科学研究科, ²浜松医科大学解剖学講座細胞生物学分野

古市泰郎¹, 井上菜穂子^{1,2}, 藤井宣晴¹

カルニチンは、長鎖脂肪酸をβ酸化の場であるミトコンドリアマトリックスへ輸送する役割を担う。また、アセチルCoAが過剰に蓄積した状況では、そのアセチル基を受け取り(アセチルカルニチンの生成)、ピルビン酸デヒドロゲナーゼの抑制を軽減するように働く。近年、後者の役割(カルニチンのアセチル化)は糖代謝の恒常性に重要であり、このシステムの破綻は代謝疾患を引き起こすことが明らかにされた。また、骨格筋細胞内で産生されたアセチルカルニチンは、細胞外に排出され血液中に入り体内を循環する。アセチルカルニチン自体は、代謝改善や神経保護の作用を有していることから、骨格筋から放出されたアセチルカルニチンは全身の臓器に有

益な効果を与えらる。本総説では、カルニチンのアセチル化が骨格筋の糖代謝に必須であるという最新の知見を紹介した。また、アセチルカルニチンの生理活性物質としての可能性に関して、運動時のカルニチン動態と関連づけて述べた。

小脳による姿勢制御機構 (p. 169-172)

東京大学大学院総合文化研究科, 科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業

柳原 大

立位姿勢を代表とする姿勢の制御は、ほとんど意識されずに自動的に行われていると考えられるが、実際には中枢神経系による高次の情報処理機構が関わっている。中枢神経系による姿勢制御は2つに大別され、1つは、種々の感覚情報を利用したフィードバック制御による姿勢の補償的な姿勢応答であり、もう1つはフィードフォワード制御による予測的な姿勢調節である。小脳はこれら2つの制御機構に対して重要な機能的役割を担っている。本稿では、ヒトの小脳疾患患者および小脳変性モデルマウスを対象にして行われた研究から得られた知見を整理し、姿勢制御における小脳機能について概説した。

階段を使った健康づくり (p. 173-179)

¹名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科, ²相山女学園大学生活科学部, ³東海学園大学スポーツ健康科学部, ⁴京都大学大学院人間・環境学研究所

高石鉄雄¹, 石原健吾², 島典広³, 林達也⁴

健康成人の心肺系, 筋骨格系, 神経系の体力の向上や維持に対し, 1日あたり30分の中等度運動あるいは20分間の活発な運動が推奨されている。しかし, いまだ多くの人が時間や施設が無いこと, 天候その他を理由に不活動な状況にある。従って, 健康づくりに効果的かつその実施が容易な運動の開発が重要である。階段を使った運動はこの目的に合う。我々は, 先行研究のデータを使って階段を上る際の運動強度(酸素摂取量)を予測する次の式を得た。酸素摂取量(ml/kg/min) = 2.03 × 垂直方向の移動速度(m/分) + 3.7

これまで, 階段を使って実施された介入研究では階段上り運動が体力や健康を改善するとされているが, その運動強度は体力レベルの低い人や高齢者には高過ぎると推定される。短い階段を使って上り下りを繰り返す運動はより容易な運動である。我々の研究データは階段昇降運動が健康づくりにおける階段運動の応用性をより広げることが示唆する。

随意筋収縮が引き起こす四肢間の皮質脊髄路の興奮性変化 (p. 181-190)

¹国立障害者リハビリテーションセンター研究所, ²日本学術振興会, ³Systems Neuroscience Institute, University of Pittsburgh, ⁴千葉大学教育学部保健体育学科

田添歳樹^{1,2,3}, 小宮山伴与志⁴

皮質脊髄路の興奮性は被験筋の随意筋収縮によって増大する。また、多様な皮質脊髄路の興奮性変化が異なる肢に位置する筋でも認められている。しかし、これらの皮質脊髄路の興奮性における四肢間の相互作用については不明な点が多い。そこで本稿では、経頭蓋的磁気刺激を用いて四肢間の相互作用を検討した研究を主に概説し、併せてその神経機序と機能的意義について考察した。肢を跨いで発生する皮質脊髄路の興奮性変化は、上肢間、上下肢間に関わらず観察され、その変化動態は随意筋収縮の様式や強度に依存して変化した。高強度の等尺性筋収縮では主に促通性の変化、関節運動を伴った等張性筋収縮では抑制性の変化、運動周期に対応した促通変化がみられた。これら異なる皮質脊髄路の興奮性変化にはそれぞれ独立した神経機構の介在が示唆された。

随意的筋力発揮時に表面電極法で記録される運動単位活動電位波形 (p. 191-198)

¹横浜国立大学教育人間科学部, ²東京慈恵会医科大学医学部

森本 茂¹, 竹森 重²

ヒトの内側広筋上に装着した表面電極から悉無性のスパイク電位が見い出され、同一の場所に電極を装着すること常に同一の波形のスパイク電位が導出できる。筋内埋入電極を筋中に刺入し、このスパイク電位と同期化活動する運動単位活動電位を探索すると、スパイクは筋中の運動単位活動電位が電位原に起因している (surface MUAP)。単極および双極導出surface MUAP 波形の解析により、観察対象運動単位の運動終板の位置、筋線維の走行を皮膚上から決定することが可能となった。そして、運動終板上の位置を皮膚に示すことにより、同一の運動単位の波形を導出することを可能とした。この手法は、脊髄 α 運動ニューロンの興奮性の観察に用いられ、surface MUAP 波形の解析は関節角度に伴う筋線維長変化に伴う構造変化、筋温低下のような実験条件下における supernormal conduction velocity または supernormal phase のような膜電位成分をヒトの運動単位で観察できることを示した。さらに、surface MUAP 導出は被験者の生体に侵害をきたすことない安全性の高い方法であることを強調した。

Short Review Articles**骨髄球系細胞における活性化型シグレックの機能**

(p. 199-203)

中央研究院生物化学研究所

安形高志

シグレックは免疫グロブリンスーパーファミリーに属する糖鎖認識タンパク質の一群であり、シアル酸と呼ばれる酸性糖を含む糖鎖を認識する。シグレックの大半は白血球に発現しており、これらの細胞の生存や活性の制御において重要な役割を果たす。シグレックの大半はチロシン脱リン酸化酵素と会合して免疫細胞を負に制御するが、少数のシグレックはアダプター分子を介してチロシンリン酸化酵素と会合し、免疫細胞の活性化を促す。最近の研究により、これらの活性化型シグレックが、病

原体に対する防御、骨代謝、癌といった生物学の多様な側面に関わっていることが明らかにされつつある。これら活性化型シグレックの遺伝的多型がヒトのライフスタイルの変化や寿命の伸長に伴う現代病に関わる可能性が示唆されており、今後、多様な角度から検討する価値がある。

プライオメトリックトレーニングが運動パフォーマンスおよび筋腱特性に及ぼす影響 (p. 205-209)

¹千葉大学環境健康フィールド科学センター, ²早稲田大学スポーツ科学研究センター, ³明治学院大学教養教育センター

杉崎範英^{1,2}, 黒川貞生³

自体重や比較的軽い負荷を用いたジャンプ形式のトレーニングエクササイズは下肢プライオメトリックエクササイズと呼ばれる。この運動はジャンプやスプリント走などといった大きなパワー発揮が必要となる運動のパフォーマンスを向上させることを目的として、各種スポーツのトレーニングで用いられている。これまで、運動パフォーマンスや神経筋パフォーマンスに対する下肢プライオメトリックトレーニングの効果が検証されてきた。これらの結果は下肢プライオメトリックトレーニングが様々なスポーツパフォーマンスを向上させることを示唆している。最近では下肢プライオメトリックトレーニングに対する筋腱の適応に関する知見も報告されている。これらの研究では下肢プライオメトリックトレーニングによって神経系以外に、筋腱の形態的あるいは機能的な変化が起こることが示唆されているが、未解明の問題も多く残されている。本総説では、運動パフォーマンスや筋腱の特性に対する下肢プライオメトリックトレーニングの効果に関する近年の知見を紹介した。

分泌臓器としての骨格筋の巧妙な機能：癌予防のための重要な働き (p. 211-215)

京都府立大学大学院生命環境科学研究科

青井 渉

骨格筋は様々な生理活性タンパク質を細胞外へ分泌する機能を有することが明らかにされてきた。これらのタンパク質は運動によって分泌が高まり、自己分泌、傍分泌あるいは内分泌システムを介して様々な臓器の機能に影響を与え、代謝改善、筋肉増量、抗炎症などの有益な作用を仲介し得る。この概念はマイオカイン説として知られている。最近我々は、新規マイオカインとして secrete protein acidic and rich in cysteine (SPARC) を同定した。このタンパク質は細胞間あるいは細胞-マトリックス間の相互作用を修飾するマトリックス細胞タンパク質ファミリーの一種である。SPARCは大腸においてアポトーシスの活性化を介した抗腫瘍効果を有することが試験管内および生体内の実験において示された。そのため、運動によって分泌されるSPARCは、多くの疫学研究によって支持されている日常的運動による大腸癌予防効果のメカニズムに寄与すると考えられる。これまでの多くの研究成果は、未知の骨格筋分泌因子 (タンパク質、代謝物質、microRNA等) の存在を示唆している。これらの分泌因子の血中レベルは、運動によって得られる有益な効果のメカニズム解明につながるるとともに、運

動による適応水準を反映するバイオマーカーになるかもしれない。

暑熱環境における脳冷却機構 (p. 217-221)

¹早稲田大学人間科学学術院, ²早稲田大学スポーツ科学学術院グローバルCOE, ³早稲田大学応用脳科学研究所
松田真由美¹, 永島 計^{1,2,3}

脳は他の組織と比べて熱による障害を受けやすい。ウシ目やネコ科動物では高体温時に脳温を低く保つ機構が備わっている。これは選択的脳温冷却と呼ばれ、脳を熱による障害から保護するための機構と考えられている。ウシ目やネコ科動物における選択的脳冷却は頸動脈網という機構により起こる。頸動脈網とは、脳底近くで外頸動脈が網目状に枝分かれし、そこで冷えた静脈血と動脈血との間で熱交換が行われ、冷却された動脈血が脳に送られるという機構である。ヒトでは頸動脈網がないことから、選択的脳冷却は起こらないという主張もあれば、ヒトでも選択的脳冷却が起こるとする報告もあり長年の議論になっている。本総説では、最近我々の研究室で得られた知見を交えてヒトの選択的脳冷却を検証する上で問題点、考えるメカニズムについて概説した。

糖尿病発症過程における糖鎖修飾の生理的意義

(p. 223-228)

¹熊本大学大学院生命科学研究部, ²理化学研究所・グローバル研究クラスター・理研-マックスプランク連携研究センター

大坪和明¹, 谷口直之²

近年のライフスタイルの変化に伴い増加する糖尿病の詳細な病態形成メカニズムは解明の途上にある。2型糖尿病発症過程では膵臓β細胞の血糖に応じたインスリン分泌機能が低下し、それと符合してβ細胞表面でグルコースセンサーとして機能するグルコーストランスポーター (GLUT) の発現が障害される。この分子メカニズムは長い間不明であったが、糖転移酵素GnT-IVa (遺伝子*Mgat4a*) の欠損マウスの解析からGnT-IVaによるGLUT2の糖鎖修飾がβ細胞表面でのGLUT2の発現およびグルコースセンサー機能に不可欠であることが判明した。実際、高脂肪食摂取マウスβ細胞では、GnT-IVaの発現が著しく低下し、β細胞表面におけるGLUT2の発現低下を伴うインスリン分泌機能不全が生じている。一方、β細胞特異的にMGAT4A遺伝子を発現するトランスジェニックマウスでは高脂肪食負荷によるβ細胞機能障害が軽減されており、長期間血糖レベルのコントロールが良好に保持されることなどから、GnT-IVaがβ細胞で糖尿病抑制因子として機能することが明らかになっている。

骨格筋サテライト細胞の異質性と階層性 (p. 229-234)

長崎大学大学院医歯薬学総合研究科

小野悠介

骨格筋は生体の中でも極めて可塑性に富んだ組織であり、運動トレーニングを行うと負荷に応じて肥大し、過度の筋運動等によって損傷しても速やかに修復・再生される。この可塑性を制御するのは筋線維の形質膜と基底膜間に存在するサテライト細胞とよばれる骨格筋組織幹

細胞である。従来、サテライト細胞は全身の骨格筋を通して比較的均一な性質を持つと考えられてきた。しかし近年の研究から、サテライト細胞は骨格筋の部位によっては遺伝子支配的あるいは機能的に極めて異質であることが明らかになってきた。一方、骨格筋間のみならず、たとえ同一筋線維内であってもサテライト細胞は機能的に極めて異質な集団として構成され、一部の細胞のみが幹細胞としての階層的上位に位置する幹細胞性 (ステムネス) を備えることが示されている。本総説では骨格筋間あるいは同一筋線維内に存在するサテライト細胞の異質性について焦点を置き、分野の最新動向を概説した。

観察者の身体や眼が動いている中で、ニューロンはどのように物体や自身の動き情報を処理するのか

(p. 235-240)

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神経数理学研究所, ⁴(株)三城

七五三木聡^{1,2}, 相馬祥吾¹, 末松尚史², 水山 遼², 田中靖人³, 藤江博幸⁴

視覚系において異なる属性の視覚情報は独立性の高い別々の経路で処理され、その過程の適切なステージで各情報が統合されることにより一つのまとまりのある視覚が生まれる。これを並列階層的情報処理と呼ぶ。この視覚情報処理系は解決しなければならない大きな問題を抱えている。それは、私たちが何かを見るときに、その身体、頭、そして眼が動いているということである。特に、眼は動きを止めることがない。通常、私たちは固視とサッケード (衝動性眼球運動) を繰り返しながら物を見ていて、その固視時ですら固視微動と呼ばれる微細な動きが生じていることが知られている。これは外部の物体の動きと観察者自身の動きの両方が混ざりあう形で網膜像の動きを作っていることを意味する。網膜像における動きから物体の動きと自身の動きを分離して処理しなければそれぞれの動きを正しく推定することはできない。また、サッケードは視線を素早く別の場所へ移動させるため、それによって知覚されるイメージがぼやけて不鮮明になり、突然の視野の切り替わりによる知覚的な不連続性が生じるはずである。しかし、私たちは普段これらの問題を意識しない。これは視覚系がそれらを代償していることを意味する。本稿では、並列階層的情報処理の過程の中でどのようにそれが実現されているのかをニューロンレベルで考察した。

運動・スポーツが骨に及ぼす影響 (p. 241-248)

筑波大学体育系

麻見直美

運動・スポーツは骨に対して効果的に作用する。骨代謝は種々の環境的な要因、とくに運動刺激による物理的な負荷や栄養状態の影響を強く受ける。スポーツ選手の骨量は運動習慣の無い人と比べて一般的に高値を示す。また、骨に対する物理的負荷は骨量を増加させ、骨強度を高めることが知られている。しかし、ときにはスポーツ選手でも骨量の低い場合が知られている。このようなケースでは、食事量の不足やバランスの崩れた栄養素等摂取によって骨吸収の亢進および骨形成の抑制が起こり、これが低骨量の原因となる。運動による骨の改善に

とっては充分量のカルシウム摂取は必須であり、タンパク質の摂取も少なくとも多くても良くない。また、低いエネルギー有効性も低骨量の原因となる。栄養素等の摂取不足やアンバランスな状態では運動の骨への効果が見られないことも知られている。本総説では、過度になりすぎない適度な身体活動と適切かつ十分な栄養素等摂取こそが骨の健康に必須であるとを概説した。

神経疾患患者に対する装着型ロボットを用いた歩行トレーニング (p. 249-253)

同志社大学スポーツ健康科学部

上林清孝

歩行機能は脊髄損傷や脳血管障害に代表される神経疾患によって損なわれる。動物実験による研究成果から、その機能回復に向けて、体重を免荷した状態で神経系の可塑的变化を目指した積極的な歩行トレーニングが行われている。しかし、重度の疾患ではセラピストの徒手アシストが必要となり、セラピストの身体的負担が非常に大きい。その問題解決のため、様々な歩行支援ロボットが開発されている。ロボットスーツHALは日本で開発された外骨格型のロボットで、股関節および膝関節のトルクモータから関節運動が歩行様にアシストされるシステムとなっている。本総説では、これまでのロボットを用いた歩行トレーニングの先行研究を紹介し、ロボットスーツHALによるリハビリテーションの実行可能性に関する研究成果を解説した。

運動行為における無意識的知覚の促進効果と行動的有用性 (p. 255-259)

首都大学東京大学院人間健康科学研究科

今中國泰

本総説では、運動反応・運動行為における無意識的知覚の促進的・有用的効果について、単純動作から実際のスポーツ動作等における行動的特性に関する先行研究に言及した。最初に、逆向マスクングを利用した体性感覚及び視覚単純反応時間課題による知見に言及し、意識に上らない刺激が単純反応時間を促進することを示した。次に、単純反応時間におけるいわゆる速度の感染効果を取り上げ、他者の素早い運動行為の観察がその後実施する単純反応時間課題の運動反応を促進することを示した。最後に、実際場面を想定したスポーツ動作における無意識的促進効果に言及した。サッカーのペナルティキックで、キッカーはゴールキーパーの立ち位置のわずかな偏りに気がつかないにもかかわらず、そのわずかに広い方のスペースに蹴る確率が高いことが報告されている。これらは、単純な実験的環境のみならず、スポーツのような実際場面でも外部環境から得られる様々な刺激がたとえ意識に上らずとも、我々の知覚判断や運動制御に促進的な効果をもたらすことを示している。これは、知覚判断や運動行為は明確な意識の下で制御されているとする我々の直感に反しているが、実証的事実である。無意識的知覚は知覚判断や運動行為に重要な要素として含まれており、恐らく日常あるいはスポーツにおける運動制御・運動学習に少なからず貢献しているものと考えられる。

Regular Articles

女性スポーツ選手の身体活動レベルとトレーニングおよびトレーニング以外の生活活動との関連 (p. 261-268)

¹早稲田大学大学院スポーツ科学研究科, ²国立健康・栄養研究所栄養教育研究部, ³早稲田大学スポーツ科学学術院, ⁴国立健康・栄養研究所基礎栄養研究部

吉田明日美^{1,2}, 高田和子², 田口素子³, 中江悟司¹, 田中茂穂^{3,4}, 樋口 満³

本研究では、異なる種目のスポーツ選手において、身体活動レベル (PAL) と、トレーニングおよびトレーニング以外の生活活動の内容を比較した。さらに、スポーツ選手における、トレーニングと生活活動の身体活動量のPALへの寄与を明らかにした。対象者は、女性新体操選手11名と、女性ラクロス選手11名であった。PALは、二重標識水法で測定した総エネルギー消費量 (TEE) を、ダグラスバッグ法で測定した安静時代謝量で除して求めた。1日の活動と睡眠の時間は、活動記録によって評価した。生活活動中の活動強度 (メッツ) は、3軸加速度計を用いて評価した。トレーニング中の活動量 (メッツ・時) は、TEEからトレーニング以外の時間における活動量を差し引いて求めた。新体操選手とラクロス選手のPALに、有意差はなかった (新体操選手 2.59 ± 0.63 , ラクロス選手 2.43 ± 0.46)。新体操選手はラクロス選手と比較して、トレーニング時間が長く、トレーニング中の活動量が大きかった。また、新体操選手はラクロス選手よりも、生活活動時間が短く、生活活動中の活動量が小さかった。トレーニングおよび生活活動中の平均活動強度には、いずれも種目間に有意差はなかった。新体操選手とラクロス選手の両方で、PALとトレーニング中の活動量に有意な正の相関がみられた (新体操 $r_s = 0.818$, ラクロス $r_s = 0.882$)。どちらの種目においても、トレーニング時間と、生活活動の時間および活動量は、PALと有意な相関を示さなかった。したがって、本研究対象者においてはトレーニング中の活動量がPALと強く関連していた。

多人数同時呼吸ガス分析法の開発 (p. 269-279)

¹福岡大学スポーツ科学部, ²福岡大学基盤研究機関身体活動研究所, ³京都府立医科大学, ⁴日本学術振興会, ⁵花王ヘルスケア食品研究所

平野雅巳^{1,2}, 山田陽介^{2,3,4}, 日比壮信⁵, 片嶋充弘⁵, 楢垣靖樹^{1,2}, 清永 明^{1,2}, 田中宏暁^{1,2}

呼吸ガス分析による間接熱量測定は、安静時と運動時のエネルギーと基質代謝の評価に用いられる。本研究では、一台の質量分析器と複数のミキシングチャンバーを用いて最大5名の被験者の安静時および最大運動時のエネルギー代謝を同時分析するシステムを開発し、その妥当性を検討した。13名の健康な若年男性 (22 ± 2 歳, 身長 172 ± 6 cm, 体重 67.1 ± 11.6 kg (平均値 \pm 標準偏差)) を被験者とした。複数のミキシングチャンバー内の異なるガス濃度を一台の質量分析器で切り替えて分析することによって生じるメモリの問題は、2秒間のウォッシュアウトによって O_2 と CO_2 の誤差がそれぞれ0.3%, 0.4%まで減少させ、十分に取り除かれた。また、高いレスポンスの質量分析器と特別に設計されたミキシングチャン

バーを用いることで、たとえ10秒毎の1秒間の短い非連続ガス濃度の計測でも、正確に代謝指標を推定することができた。食事誘発性熱産生 (DIT) と最大漸増運動中の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) は、新しい測定方法とダグラスバッグ法との間に差がみられなかった。2つの測定方法

によるDITと $\dot{V}O_2$ の平均誤差率 $\pm 1.96 \times$ 標準偏差は、それぞれ、 $2.8 \pm 43.6\%$, $0.9 \pm 4.8\%$ であった。本研究では、新しく開発したシステムが広い範囲にわたって良好な妥当性があることを示した。