

身体活動・不活動およびフィットネスに関する 効果的な評価法の開発

多様な身体活動評価法開発チーム（課題番号：117025）

研究期間：平成 23 年 7 月 22 日～平成 26 年 3 月 31 日

研究代表者：田中宏暁 研究員：田中 守、檜垣靖樹、山口幸生

【背景】

身体活動や体力の評価は、スポーツ健康科学分野の古くから新しい重要な研究テーマである。なぜなら、評価は運動処方や健康プログラムにおける強度、目標設定に必須のものだからである。多様な特性を持つ各種競技において、最適なトレーニング法の検討や潜在的能力を発掘する上でも、適切な評価法はかかせない。さらに、近年の健康づくり領域では、肥満と不活動の関連も注目されており、どれだけ「動いた」か、と共にどれだけ「動かない」のか、という側面の研究も必要とされている。より広い視点からは、個人の身体活動量評価を越えた、地域全体の身体活動量を俯瞰しうる、マクロレベルでの評価法について検討したものほとんど無い。このように人間の身体活動量や体力は、様々な視点から分析可能であり、新たな概念や機器の発達とともに、より精度、簡便性や全体性を高めた評価法の開発が常に求められている。

本推奨研究プロジェクトでは、心音を用いた運動評価、コンタクトフィットネス評価、特定保健指導評価、およびスマートフォンを用いた身体活動量評価について報告する。

【1. 心音を用いた運動評価】

有疾患者や高齢者、低体力者が効果的な運動を長期間継続するためには、運動負荷に対して安全に行える運動処方が必要となる。運動処方に必要な条件として運動様式、運動強度、運動量（時間と頻度）といった様々な要因が含まれるが、そのうち運動強度は最も重要となる。生活習慣病の予防や改善のための運動は、軽強度の有酸素運動が推奨されており、その運動強度の指標として乳酸閾値（LT）や非観血的な測定から得られる換気性作業閾値（VT）、心拍数と収縮期血圧の積である二重積屈曲点（DPBP）が考案されている。しかし、これらの方

法は高額な測定機器や専門的技術を必要とするため容易に測定できるわけではない。

一方、心音は心臓から聞こえる音であり、簡便で非観血的に心機能を評価することができる手法である。心音は、一回の心臓の拍動で大きく 2 つの音が聞こえる。まず、最初の音を第一心音とよび、房室弁（僧坊弁と三尖弁）が閉まる時と血液が大動脈や肺動脈に流出する際に聞こえ、心臓が収縮して血液を全身に送り出す際に聞こえる音である。次の音を第二心音とよび、大動脈弁と肺動脈弁が閉まる時に聞こえ、心室が収縮し終わった際に聞こえる音である（図 1）。心収縮力は心筋の酸素需要量の主要な規定因子であり、心拍数と第一心音振幅の二重積は心筋酸素需要を表す有力な指標である。我々は心拍数と第一心音の振幅の二重積が LT と近似して発現し、血中カテコラミン濃度の変化との間に高い相関関係にあることを確認しており、運動時の第一心音振幅の増大が交感神経活動の亢進を反映することを報告した（図 2）¹⁾。また、第一心音と第二心音の時間的計測で得られる心周期に関連して、心音図の記録から心筋虚血の出現と密接に関連する拡張期時間の割合を評価することも可能であり²⁾、運動中の安全確認の指標にもなる。近年、我々は「無線式心音検出・解析システム」を開発し、同時に 20 名の被検者を対象に運動負荷試験を行い、短時間で心音の検出と解析ができるようになった。

福岡大学病院に併設しているメディカルフィットネスセンターでは、心疾患や生活習慣病の予防・改善を目的に、心音を用いた運動療法・心臓リハビリテーションを行っている。心音を用いた運動処方の導入により、効果的な運動療法が実施できており、今後さらに生活習慣病や心疾患患者を対象とした運動療法の効果について検討するつもりである。

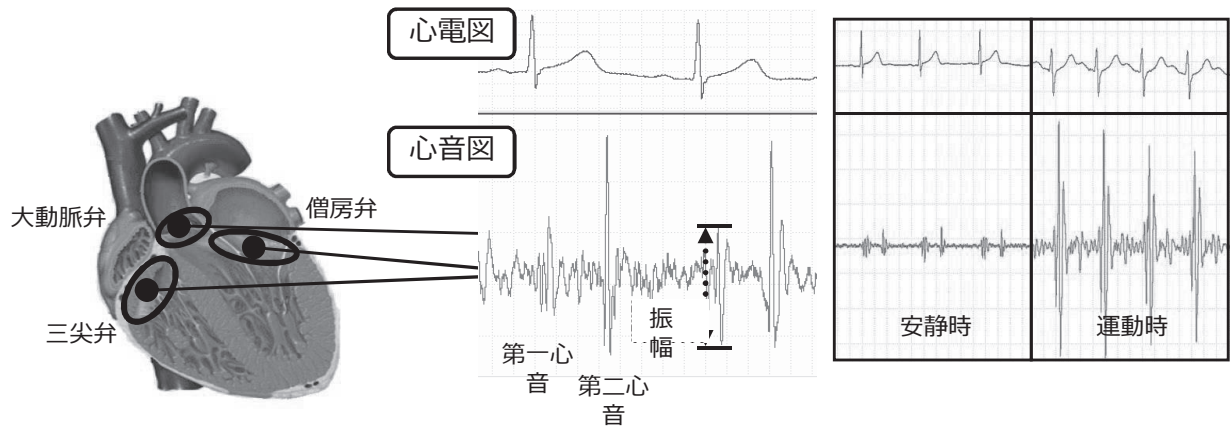


図1 安静時ならびに運動中の心電図波形と心音図振幅

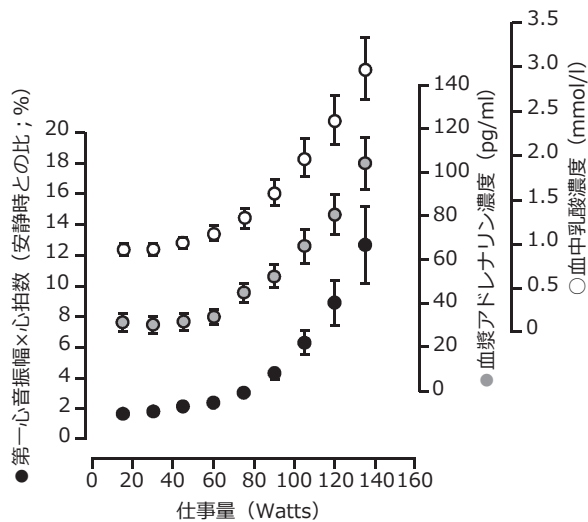


図2 漸増運動負荷試験中の第一心音振幅と血漿アドレナリン、血中乳酸濃度との関係

第一心音の屈曲点は乳酸閾値と近似して発現し、アドレナリン濃度と同様な変化を示す。

【2. コンタクトフィットネス評価】

混戦型球技種目の試合中には、強弱さまざまなボディコンタクトが発現している^{3) 4)}。これに関連するさまざまな体力測定評価法が検討されている^{5) 6) 7) 8) 9) 10)}。

本研究では、無酸素性走パワー（20m 往復 40m 走）と投パワー（メディシンボール後方投げ）の間欠運動（test I）と、それにボディコンタクトを想定した筋力発揮を加え（test II）、筋力発揮が無酸素性走パワーと投パワーの間欠的発揮能力に及ぼす影響と体力特性との関連を検討し、以下の結果を得た。

test I と test II の無酸素性走パワーの維持率を比較したところ、test II の方が無酸素性走パワーの有意な低下を示した。なお、test II における無酸素性走パワーの維持率と最大筋力の総合的指標とした Strength index との間に何ら関係はみられなかったが、無酸素性作業能力に対する相対的有酸素性作業能力 Relative aerobic power¹⁰⁾ と

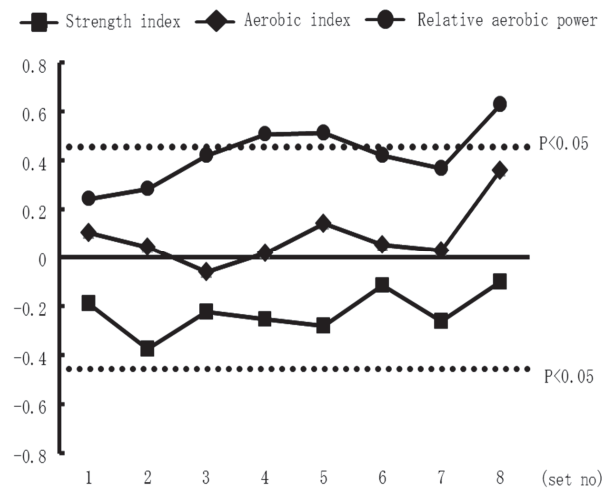


図3 間欠走各セットと各指標との相関係数の推移

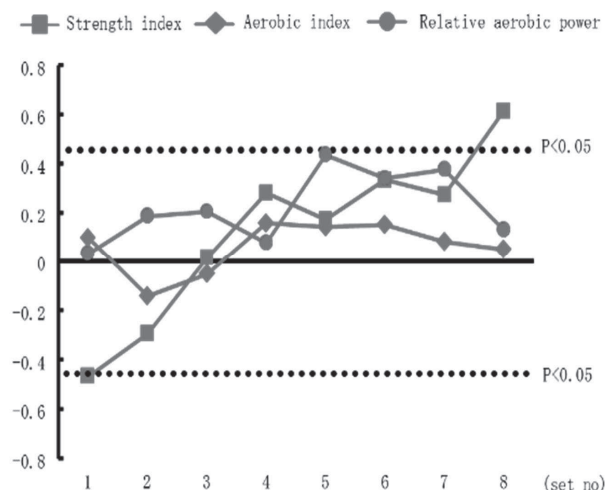


図4 間欠投各セットと各指標との相関係数の推移

の間には、4・5・8セット目に有意な正の相関関係が認められた（図3）。

test I と test II の無酸素性投パワーの維持率を比較したところ、test II の方が有意な低下を示した。また、test II

における無酸素性投パワーの維持率と Strength index との間には、8セット目に有意な正の相関関係が認められた（図4）。すなわち、瞬時の筋力発揮を伴うメディシンボール投げには、セット間での筋力発揮の影響が徐々に始始め、Strength index の低い者ほど終盤に大きな低下をもたらすことを示唆している。

以上のことから、筋力発揮を含む無酸素走パワーの間欠的発揮の維持には、無酸素性作業能力に対し相対的に有酸素性作業能力に優れること、筋力発揮を含む無酸素投パワーの間欠的発揮の維持には、筋力に優れる必要性が示唆された。

【3. 特定保健指導評価】

近年、日常生活活動量の低下は動脈硬化性疾患の発症やそれによる死亡率と関連しており、日常生活での身体活動の維持・向上が心血管病の発症や死亡率を抑制させることがいくつかの疫学調査で明らかにされている^{11), 12)}。ヒトの1日の総エネルギー消費量は、基礎代謝と食事誘発性体熱産生、身体活動に伴うエネルギー消費量の3つに構成される。そのうち、身体活動とは「骨格筋の活動により安静時よりも多くのエネルギー消費を伴う身体の状態」であり、健康増進や体力の維持・向上を目的とした計画的、組織的で継続性のある“運動”とそれ以外の余暇や家事、仕事からなる“生活活動”に分類される。最近では不活動時間の減少や身体活動量とりわけ生活活動の増加が心血管病の発症予防に有効であることがいくつかの研究成果より証明されている^{12), 13)}。

一方、メタボリックシンドロームの予防や改善のため

には、自身の健康問題に気づき、生活習慣を振り返って問題点を発見し、食生活や運動習慣などの生活習慣をどのようにして改善するかを考えて、実行・継続させることが重要となるため、運動や食事指導を行うにあたっては対象者自身が行動変容を起こせるように支援する必要がある。我々はこれまでに特定保健指導参加者と非参加者を対象に行動変容ステージの変化がメタボリックシンドローム改善におよぼす影響について検討した¹⁴⁾。特定保健指導に参加した男性29名（介入群）と支援形態、年齢、BMIをマッチングした男性58名（対照群）を対象とし、自記式質問票より行動変容ステージ（無関心期、関心期、準備期、実行期、維持期）を評価した。追跡1年後、介入群、対照群ともに行動変容ステージが維持・前進した群は腹囲、BMI、拡張期血圧、HDL-コレステロール、中性脂肪が有意に改善した。また、生活行動調査の結果、介入群、対照群ともに行動変容ステージが維持・前進した群は「日常生活において歩行または同等の身体活動を1日1時間以上実施」に該当したものの割合が有意に増加し、「夕食後に間食をとることが週に3回以上ある」と該当したものの割合が減少した（表1）。本研究の結果より、行動変容を促した結果、夕食後の間食を抑制し、日常生活活動量を増加させたことから、メタボリックシンドロームの危険因子が改善したのではないかと考えられる。したがって、不活動時間の減少や身体活動量の増加のためには、運動指導に加えて行動変容を促すような支援が必要であると考えられる。

表1 介入群と対照群において行動変容ステージが維持・前進した群と不変・後退した群の生活行動の変化

		介入群		対照群	
		不変・後退群 (n=6)	維持・前進群 (n=23)	不変・後退群 (n=38)	維持・前進群 (n=20)
1回30分以上の軽く汗をかく運動を週2日以上、1年以上実施していますか（はい）	ベースライン時 追跡1年後	2名 (33.3%) 3名 (50.0%)	7名 (30.4%) 15名 (65.2%) *	15名 (39.5%) 9名 (23.7%)	9名 (45.0%) 11名 (55.0%)
日常生活において歩行または同等の身体活動を1日1時間以上実施していますか（はい）	ベースライン時 追跡1年後	2名 (33.3%) 4名 (66.7%)	8名 (34.8%) 16名 (69.6%) *	9名 (23.7%) 12名 (31.6%)	8名 (40.0%) 14名 (70.0%) *
ほぼ同じ年齢の同性と比較して歩く速度が速いですか（はい）	ベースライン時 追跡1年後	3名 (50.0%) 4名 (66.7%)	13名 (56.5%) 11名 (47.8%)	25名 (65.8%) 23名 (60.5%)	13名 (65.0%) 11名 (55.0%)
人と比較して食べる速度が速いですか（速い）	ベースライン時 追跡1年後	4名 (66.7%) 3名 (50.0%)	12名 (52.2%) 11名 (47.8%)	19名 (50.0%) 18名 (47.4%)	9名 (45.0%) 13名 (65.0%)
就寝前の2時間以内に夕食をとることが週に3回以上ありますか（はい）	ベースライン時 追跡1年後	2名 (33.3%) 1名 (16.7%)	7名 (30.4%) 4名 (17.4%)	11名 (28.9%) 6名 (15.8%)	9名 (45.0%) 7名 (35.0%)
夕食後に間食（3食以外の夜食）をとることが週に3回以上ありますか（はい）	ベースライン時 追跡1年後	2名 (33.3%) 1名 (16.7%)	6名 (26.1%) 1名 (4.3%) *	7名 (18.4%) 7名 (18.4%)	6名 (30.0%) 1名 (5.0%) *
朝食を抜くことが週に3回以上ありますか（はい）	ベースライン時 追跡1年後	1名 (16.7%) 2名 (33.3%)	2名 (8.7%) 3名 (13.0%)	7名 (18.4%) 8名 (21.1%)	4名 (20.0%) 3名 (15.0%)

結果は該当者数（割合）で示す。*; p<0.05, 介入前後の比較。

【4. スマートフォンを用いた身体活動量評価】

身体活動量の評価には質問紙やインタビュー方式による自己報告、歩数計、加速度計、最近ではGPSを用いたものなど、その利用目的に応じて開発が進められてきた。本研究で開発するスマートフォンによる身体活動量測定は、1) 数万人規模の多人数にリーチできる可能性がある、2) インタラクティブな通信機能により、個々の特性に応じた質問により測定精度の向上が期待できる、3) 多人数のデータ管理が容易で低コストでの利用が見込める、などのメリットが挙げられる。本研究では日常生活の身体活動量を最も正確に測定できる二重標識水法（DLW法：Doubly-Labeled Water method）を基準にして、スマートフォンを用いた身体活動量の測定法を開発することを目的とした。

対象者は、25～61歳の男性10名（平均年齢45.2±12.3歳）、女性10名（平均40.0±9.1歳）であった。2種類のアルゴリズム（24hPAR WEB、7days Recall WEB）による身体活動量測定システムを開発して、その妥当性を日常生活の身体活動を最も正確に測定できるDLW法によって検討した。2種類の方法で7日毎に計14日間の測定を行い、その間のDLW法による総エネルギー消費量（TEE：total energy expenditure）を妥当基準とした。基礎代謝量（BMR：basal metabolic rate）は、呼気ガス分析装置を用いて早朝6：00あるいは6：30より安静仰臥位にて測定を行った。

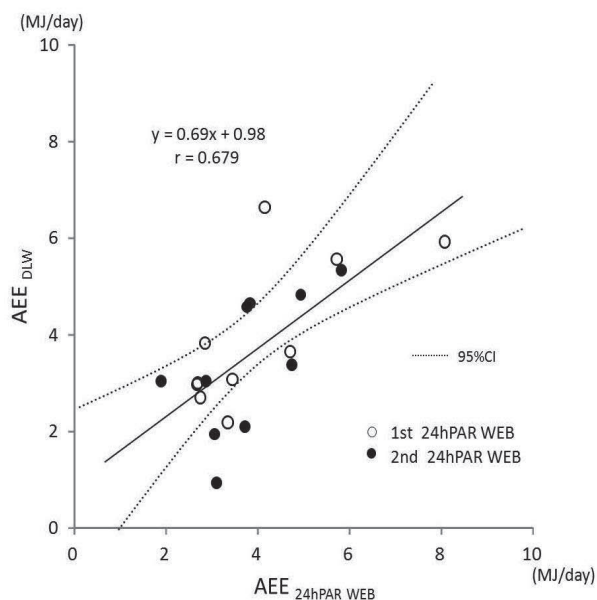


図5 24hPAR WEB法とDLW法による身体活動消費エネルギーの相関

24hPAR WEBによる総エネルギー消費量は、DLW法との間に $r = 0.874$ ($p < 0.001$)の相関関係が認められ、7days Recall WEBは、DLW法との間に $r = 0.590$ ($p = 0.006$)の相関関係が認められた（図5）¹⁵⁾。なお、両測定法の

総エネルギー消費量の平均値は、DLW法との間に有意差は認められなかった。ユーザビリティ評価では、両測定法ともに良好で、1回当たりの平均入力時間は、24hPAR WEBでは8分10秒で、7days Recall WEBでは6分38秒であり、入力日が進むに連れて回答時間が早くなる傾向がみられた。本研究を発展させることで、数万人規模の身体活動量測定を低コストかつ高精度で評価が可能となり、身体活動量の低下が原因で生じる生活習慣病予防への貢献が期待できる。

【謝辞】

本研究の一部は、福岡大学研究推進部の研究経費によるものである。（課題番号：117025）

【参考文献】

- 1) Tanaka H, Matsuda T, Tobina T, Yamada Y, Yamagishi T, Sakai H, Obara S, Higaki Y, Kiyonaga A, Brubaker PH: Product of heart rate and first heart sound amplitude as an index of myocardial metabolic stress during graded exercise. *Circ J* 2013; 77: 2736-2741.
- 2) Ferro G, Duilio C, Spinelli L, Liucci GA, Mazza F, Indolfi C: Relation between diastolic perfusion time and coronary artery stenosis during stress-induced myocardial ischemia. *Circulation* 92: 342-347, 1995.
- 3) 田中 守・Michalsik Lars Bojsen・Bangsbo Jens：デンマークにおける一流ハンドボール選手の公式ゲーム中の活動特性. *スポーツ方法学研究*, 15(1): 61-73. 2002.
- 4) 戸田 尊・野上敦司・田中 守・村上 純：ラグビーの試合におけるフォワード選手の筋損傷の程度とゲーム貢献度との関連性. *九州体育・スポーツ学研究* 24(2): 9-15. 2010.
- 5) 明石光史・田中 守・田中宏暁・進藤宗洋：球技スポーツにおける無酸素性走パワーの間欠的発揮能力に関する簡易測定法の検討. *福岡大学スポーツ科学研究*, 36(1): 77-88. 2005.
- 6) 明石光史・田中 守・檜垣靖樹・田中宏暁：ハンドボール競技選手におけるボディコンタクトが走パワーへ及ぼす影響 ～漸増負荷運動と間欠運動に着目して. *体育学研究*（受理済み）2014.
- 7) Johnston RD and Gabbett TJ.: Repeated-sprint and effort ability in rugby league players. *J Strength Cond Res*, 25(10):2789-2795. 2011.
- 8) 森口哲史・市村志朗・藤田 勉・永澤 健・前田雅人：ハンドボールに必要な間欠的運動能力に関するフィールドテストの検討. *鹿児島大学教育学部教育実践研究紀要*, 19: 81-86. 2009.
- 9) 齊藤洋之助・丹 信介：サッカーにおける間欠的な高強度運動の持続能力と有酸素能力との関係に関する

- る検討. サッカー医・科学研究 21: 68-73. 2001.
- 10) 坂井和明・水上 一・斉藤一人・Sheahan John・高松 薫: 球技選手における間欠的なハイパワー発揮能力のトレーニング課題に関する研究: エネルギー産生能力のタイプに着目して. 体育学研究, 45(2): 239-251. 2000.
- 11) Bertoni AG, Whitt-Glover MC, Chung H, Le KY, Barr RG, Mahesh M, Jenny NS, Burke GL, Jacobs DR: The association between physical activity and subclinical atherosclerosis: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Am J Epidemiol* 2009; 169: 444-454.
- 12) Ford ES, Caspersen CJ: Sedentary behaviour and cardiovascular disease: a review of prospective studies. *Int J Epidemiol* 2012; 41: 1338-1353.
- 13) Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD: Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* 283: 212-214, 1999.
- 14) 道下竜馬、松田拓朗、重富千明、大上裕貴、仲野裕香、前原雅樹、市川麻美子、平田明子、渡部貴和、堀田朋恵、吉村英一、武田典子、美根和典、宗清正紀、瓦林達比古、清永明、田中宏暁、檜垣靖樹: 特定保健指導による行動変容がメタボリックシンドロームの改善に及ぼす影響. 厚生 の 指 標 2014; 61: 17-25.
- 15) Hideyuki Namba, Yukio Yamaguchi, Yosuke Yamada, Satoru Tokushima, Yoichi Hatamoto, Hiroyuki Sagayama, Misaka Kimura, Yasuki Higaki, Hiroaki Tanaka: Validation of Web-Based Physical Activity Measurement Systems Using Doubly Labeled Water. *J Med Internet Res*, 14 (5) :e123,doi:10.2196/jmir. 2253, 2012.
- Namba H, Yamaguchi Y, Yamada Y, Tokushima S, Hatamoto Y, Sagayama H, Kimura M, Higaki Y, Tanaka H: Validation of Web-Based Physical Activity Measurement Systems Using Doubly Labeled Water. *J Med Internet Res*, 14 (5) :e123, doi:10.2196/jmir. 2253, 2012.

【研究業績】

Tanaka H, Matsuda T, Tobina T, Yamada Y, Yamagishi T, Sakai H, Obara S, Higaki Y, Kiyonaga A, Brubaker PH: Product of heart rate and first heart sound amplitude as an index of myocardial metabolic stress during graded exercise. *Circ J* 2013; 77: 2736-2741.

明石光史・田中 守・檜垣靖樹・田中宏暁: ハンドボール競技選手におけるボディコンタクトが走パワーへ及ぼす影響 ～漸増負荷運動と間欠運動に着目して. 体育学研究 (受理済み) 2014.

道下竜馬、松田拓朗、重富千明、大上裕貴、仲野裕香、前原雅樹、市川麻美子、平田明子、渡部貴和、堀田朋恵、吉村英一、武田典子、美根和典、宗清正紀、瓦林達比古、清永明、田中宏暁、檜垣靖樹: 特定保健指導による行動変容がメタボリックシンドロームの改善に及ぼす影響. 厚生 の 指 標 2014; 61: 17-25.