

図2. DLW法で測定されたTEEに対する各簡易推定法の相関関係

DLW: doubly labeled water method, AR: activity record, HR: heart rate monitoring, LC: Lifecorder.

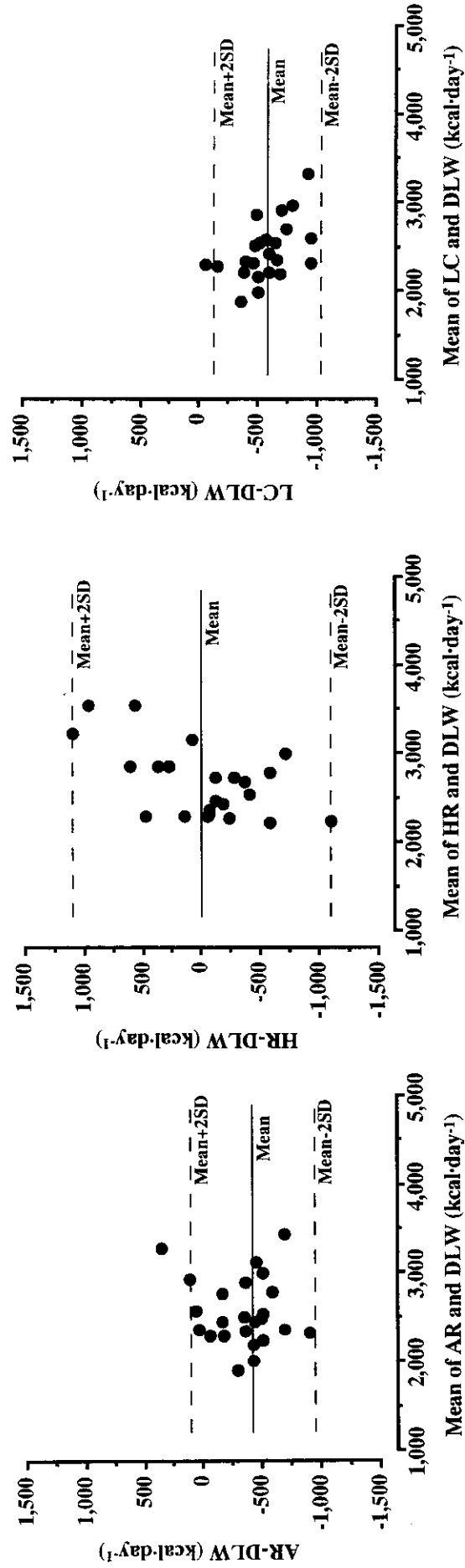


図 3. 各簡易推定法のBland and Altman プロット

DLW: doubly labeled water method, AR: activity record, HR: heart rate monitoring, LC: Lifecorder.

二重標識水法による日本人中年男性のエネルギー消費量 と生活活動強度の推定

分担研究者 齊藤慎一（筑波大学体育科学系）

研究協力者 海老根直之、RAFAMANTANANTSOA HOBY HASINA（筑波大学体育科学研究科）西牟田 守（独立行政法人、国立健康・栄養研究所人間栄養学研究系栄養所要量研究部）Peter. J. H. JONES (McGill University, CANADA)

二重標識水(Doubly Labeled Water: DLW)法を用いて、無拘束下に日本人スポーツ選手36名と運動習慣をもたない女子学生10名の総エネルギー消費量(Total Energy Expenditure: TEE)を測定し、生活活動強度(Physical Activity Level: PAL)を推定した。その結果、スポーツ選手のTEEとPALは、2064-4694kcal、1.54-3.27であった。女子学生のTEEとPALは、1423-2021kcal、1.31-1.90であった。生活活動指数が高いと考えられるスポーツ選手のエネルギー所要量については、第六次改定の日本人の栄養所要量では触れられていない。しかし、本研究結果から、第五次改定の日本人の栄養所要量に存在する生活強度V(生活活動指数2.2)を引きつづき使用しても問題がないように思われた。生活活動指数が低いとみられる一般女子学生のエネルギー所要量は、第六次改定の日本人の栄養所要量の生活活動強度に準拠して問題はないと思われた。

A.目的

日常生活にスポーツ活動を積極的に取り入れることによりエネルギー消費量(生活活動強度)を高くして、エネルギー摂取とのエネルギーバランスを適切に保つようすることは、生活習慣病予防など健康づくりに役立つことは十分知られている。健康づくりのために、どれだけスポーツ活動を取り入れるかは、上限としての激しいスポーツ活動を行っている人々から、下限としてのほとんど身体活動をしない人々までの広範囲にわたる調査が必要である(表1)。

我々はこれまで、日本人青年男子(n=12)および男性中高齢者(n=29)計41名の総エネルギー消費量を二重標識水(DLW)法を用いて実測してきた。本年度の研究では、平成11、12年に測定した被験者にさらに日本人青年女子(n=12)、男女中高齢者(n=22)の計34名を追加した。これに加えて、生活活動強度がもともと高いエリートスポーツ選手(男子17名、女子19名、計36名)の総エネルギー消費量を二重標識水(DLW)法を用いて実測した。本報告では、まず今後行われるであろうスポーツ選手の栄養所要量の策定を念頭において、実生活中のスポーツ選手が消費するエネルギー量について、DLW法による実態調査から、スポーツ選手のエネルギー所要量について検討した。次に、日常生活ではほとんどスポーツ

Table 1-1. 第五次改定日本人の栄養所要量
における生活活動強度の区分（目安）

生活活動強度 と指数※	日常生活の内容
I 軽い 0.35 (1.50)	通勤、買物など1時間程度の歩行と軽い手作業や家事などによる立位のほかは大部分座位で事務、勉強、談話等をしている場合
II 中等度 0.50 (1.67)	通勤、買物のほか仕事などで2時間程度の歩行と事務、読書、談話による座位のほか機械操作、接客、家事等による立位時間の多い場合
III やや重い 0.75 (1.94)	農耕、漁業、建築などで座位、立位、歩行のほか1日のうち1時間程度は重い筋作業に従事している場合
IV 重い 1.00 (2.22)	1日のうち2時間程度は激しいトレーニングとか木材の運搬、農繁期の農耕作業などのような重い筋作業に従事している場合

Table 1-2. 第六次改定日本人の栄養所要量
における生活活動強度の区分（目安）

生活活動強度 と指数#	日常生活の内容
I 低い 1.3	散歩、買物など比較的ゆっくりした1時間程度の歩行のほか、大部分は座位での読書、勉強、談話、また座位や横になってのテレビ、音楽鑑賞などを行っている場合
II やや低い 1.5	通勤、仕事などで2時間程度の歩行や乗車、接客、家事等立位での業務が比較的多いほか、大部分は座位での事務、談話などを行っている場合
III 適度 1.7	生活活動強度II（やや低い）の者が1日1時間程度は速歩やサイクリングなど比較的強い身体活動を行っている場合や、大部分は立位での作業であるが1時間程度は農作業、漁業などの比較的強い作業に従事している場合
IV 高い 1.9	1日のうち1時間程度は激しいトレーニングや木材の運搬、農繁期の農耕作業などのような強い作業に従事している場合

※()内の数値は、第六次改定日本人の栄養所要量と比較可能なように基礎代謝量の倍数として生活活動指数を再計算したものである

#基礎代謝量の倍数

活動をしない一般女子学生について、DLW法による実態調査を基に検討した。なお、一般中高齢者のデータについては、3カ年のまとめとして総合報告書の中で検討報告した。

B. 方法

(1) スポーツ選手のエネルギー消費量測定

対象者は、長距離選手10名、シンクロナイズ・スイマー9名、サッカー選手7名（シーズン中）10名（オフシーズン）であった。

被験者には、あらかじめ実験の目的と内容を説明し同意を得た。また、本実験の内容については国立健康栄養研究所の倫理委員会の承認を受けた。

実験概要を図1に示した。DLW法によるエネルギー消費量測定は14日間とし、1日の総エネルギー消費量は14日間の平均とした。酸素-18と重水素（昭光通商、東京）を先に示した投与方法に従って調整し投与した。また、唾液と尿のサンプルの前処理とIRMS(Isotope

Ratio Mass Spectrometer)による分析は、カナダ、マギル大学のDr. Jonesの研究室でおこなった。

14日間のうちの3日間について、食事記録をとらせ、熟練した管理栄養士が栄養分析をおこない、摂取エネルギー(Energy Intak: EI)とFood Qotient(FQ)などを求めた。

PALはTEEを基礎代謝量で除して得られる示数であるが、本研究では、第六次改定日本人の栄養所要量⁵⁾に記載された基礎代謝基準値に体重を乗ずることにより、推定BMR(estimated BMR: eBMR)を算出した。なお、この示数を用いると、年齢、性、体重、体組成にかかわらず、ヒトのエネルギー必要量をBMRの倍数で簡便に表せる。

(2) 一般女子学生のエネルギー消費量測定

対象者は、女子大学生10名とし、(1)スポーツ選手と同様の手順でエネルギー消費量の測定を行った。

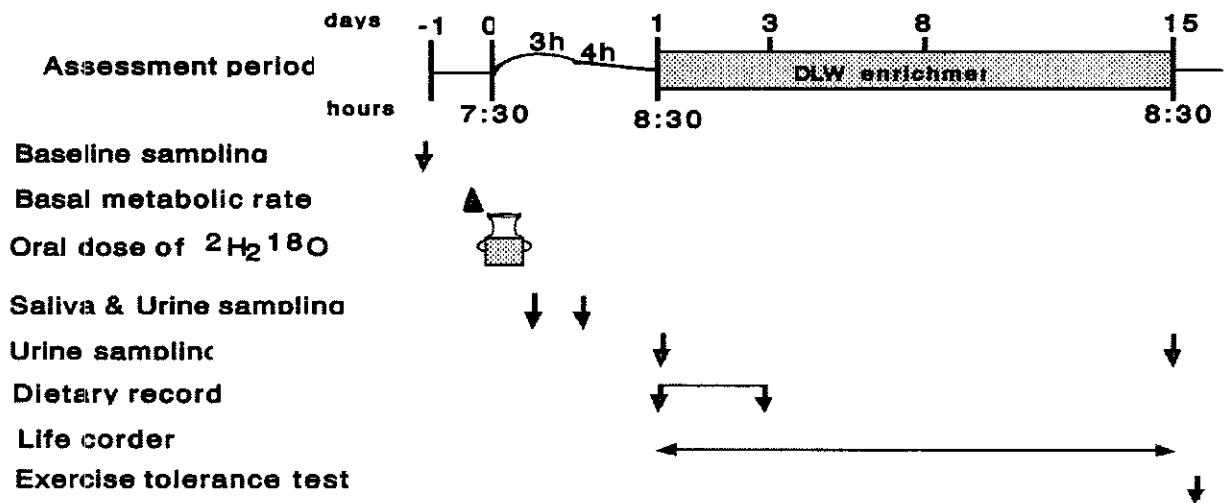


図1：実験概要

C. 結果および考察

(1) スポーツ選手のエネルギー消費量測定

本研究の結果と、これまでにDLW法を用い

てスポーツ選手のTEEを正確に測定した先行研究の結果から、スポーツ選手のエネルギー所要量について主にPALを用いて検討を行った。なお、第五次改定日本人の栄養所要量まで、

スポーツ選手の栄養指導の目安として利用されてきた生活活動指数は、現行の指数（PALと同様、基礎代謝量の倍数として示される）に変換すると2.2に相当する（表1）。本研究で日常的なトレーニングを行っていたスポーツ選手に限定して検討を行ったところ、2.2の範囲内には75%もの選手が分布した（図2）。また、これまでに測定されたスポーツ選手のTEEに関する先行研究の結果を全て加えて検討すると、PALの平均値は2.03となり、およそ70%の選手が2.2までの範囲におさまることが明らかとなった。このことから、日常的なトレーニングを実施するスポーツ選手のエネルギー所要量を導き出すための生活活動指数として2.2が有効に利用可能なのではないかと考えられた。ちなみに、サッカー選手（試合期：表5）とシンクロナイズドスイミング選手（トレーニング期：表3）について、第六次改定の基礎代謝基準値と体重の平均値及び生活活動指数2.2を使用してエネルギー所要量を算出すると、それぞれ3,700kcalと2,700kcalとなり、それ以内のTEEは75%（6人/7人と6人/9人）であった。このような結果を基にすると、通常のトレーニングを行っている場合のスポーツ選手のエネルギー所要量の目安については、第五次改定の日本人の栄養所要量にある生活活動Vに準拠して良いのではないかと考えられる。

一方、合宿期など体重減少を伴う激しいトレーニング時には生活活動指数が2.2を超える場合もしばしば認められる。この場合、スポーツ選手のエネルギー所要量はあくまでも目安であることから、個人レベルでの栄養状況に注意を払わねばならないのは言うまでもない。

（2）一般女子学生のエネルギー消費量測定

DLW法を用いた先行研究に着目すると、秤量法より精度が劣る食事記録法により求められたEIは、TEEに対し過小評価されることが知られている。本研究においてEIとTEEの間に良

好な結果が得られた主たる要因としては、秤量法によりEIの測定を実施した点があげられるが、測定に対して理解と協力が得やすい学生を対象としたことなどもその要因として考えられる。

定期的にスポーツ活動を生活に取入れていない女子学生のPALの平均値は、第六次改定日本人の栄養所要量の生活活動強度IIとIII（生活活動指数1.5と1.7）にほぼ等しい値であった。この内、PALが1.9を超えた2名は過去にスポーツ活動を行っていたと述べていた。

D.まとめ

生活活動指数が高いと考えられるスポーツ選手のエネルギー所要量については、第六次改定の日本人の栄養所要量では触れられていない。しかし、DLW法を用いての実態調査を基にすると、第五次改定の日本人の栄養所要量に存在する生活強度V（生活活動指数2.2）を引きつづき使用しても問題がないように思われた。

生活活動指数が低いとみられる一般女子学生のエネルギー所要量は、第六次改定の日本人の栄養所要量の生活活動強度に準拠して問題はないと思われた。

【参考文献】

- 1) 齊藤慎一、海老根直之、島田美恵子、吉武裕、田中宏暁：二重標識水法によるエネルギー消費量測定の原理とその応用：生活習慣病対策からトップスポーツ選手の栄養処方まで。栄養学雑誌 57:317-332,1999.
- 2) 島田恵美子、吉武裕、西牟田守、田中宏暁、海老根直之、齊藤慎一：エネルギー消費量推定法の検討：二重標識水法との比較。第54回日本栄養・食糧学会講演要旨集、pp.27、2000.
- 3) Roberts, S.B. and Dallal, G.E.: Effects of age on energy balance. *Am. J. Clin. Nutr.* 68(suppl):975S-979S, 1998.

Table 2 . TEE, BMR and PAL of the female long distance runners during high altitude training.

Subject	TEE (kcal/day)	BMR (kcal/day)	PAL
1	3033	1129	2.69
2	3432	1073	3.20
3	2811	1031	2.73
4	3256	997	3.27
5	3020	968	3.12
6	3306	1013	3.26
7	3172	1265	2.51
8	2856	1027	2.78
9	2751	1022	2.69
10	3290	1124	2.93
Mean	3093	1065	2.92
SD	234	88	0.28

Table 3 . TEE, BMR and PAL of the synchronized swimmers

Subject	TEE (kcal/day)	BMR (kcal/day)	PAL
1	2294	1313	1.75
2	3641	1355	2.69
3	3375	1414	2.39
4	2387	1232	1.94
5	2064	1341	1.54
6	3813	1409	2.71
7	2244	1227	1.83
8	2425	1240	1.96
9	2398	1235	1.94
Mean	2738	1307	2.08
SD	672	77	0.41

Table 4 . TEE, BMR and PAL of the soccer players during competitive season.

Subject	TEE (kcal/day)	BMR (kcal/day)	PAL
1	3446	1867	1.85
2	2896	1716	1.69
3	3407	1572	2.17
4	3401	1786	1.9
5	3622	1686	2.15
6	3706	1870	1.98
7	4249	1617	2.63
Mean	3532	1731	2.05
SD	408	116	0.3

Table 5. TEE, BMR and PAL of the soccer players during pre-season training camp.

Subject	TEE (kcal/day)	BMR (kcal/day)	PAL
1	4694	1922	2.44
2	4228	1850	2.29
3	4622	1657	2.79
4	4364	1924	2.27
5	4284	1721	2.49
6	3892	1672	2.33
7	4654	1600	2.91
8	4143	1629	2.54
9	4441	1605	2.77
10	4354	1637	2.66
Mean	4368	1722	2.55
SD	250	129	0.23

Table 6 . TEE, BMR and PAL of female students.

Subject	TEE (kcal/day)	BMR (kcal/day)	PAL
1	1873	1183	1.58
2	1806	986	1.83
3	1423	899	1.58
4	1930	1104	1.75
5	2011	1034	1.94
6	1939	1207	1.61
7	1753	1143	1.53
8	1592	1213	1.31
9	1613	1074	1.5
10	2021	1062	1.9
11	1845	1145	1.61
12	1833	1124	1.63
Mean	1803	1098	1.65
SD	181	93	0.18

BMRは3回実測の平均値

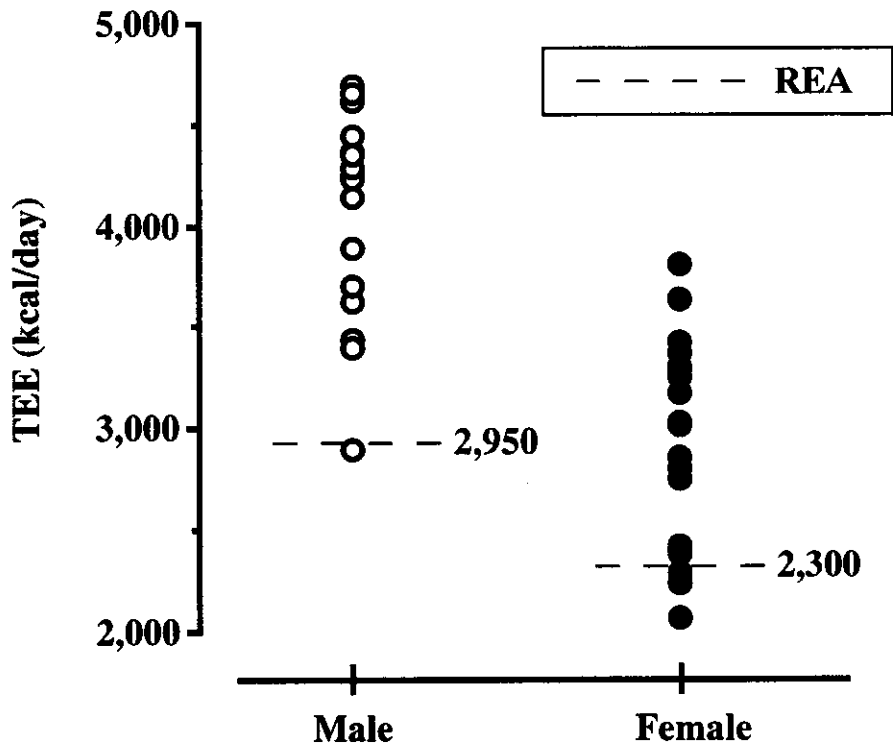


Figure 2. Total energy expenditure (TEE) of the athletes and recommended energy allowance (REA) based on level of physical activity IV (high) of “Recommended Dietary Allowances for the Japanese -6th revision-”

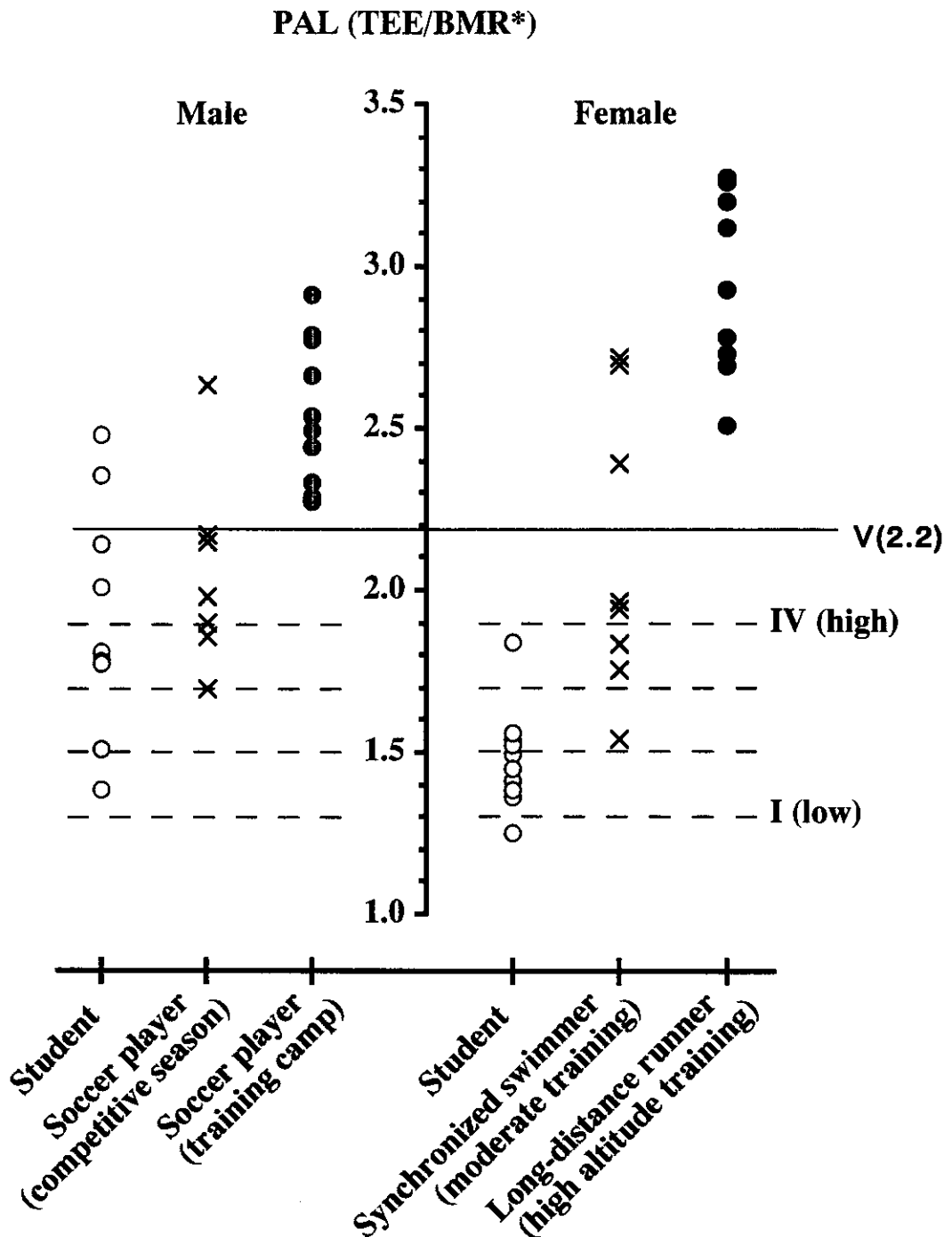


Figure 3. Physical activity level (PAL) of the subjects in the present study and recommended energy allowance (REA) based on level of physical activity IV (high) of “Recommended Dietary Allowances for the Japanese -6th revision-”

***BMR was calculated using “5th Revision” (Level II for students, level IV for athletes).**

- 4) Ebine, N. J-Y. Feng, J-Y., Homma, M., Saitoh, S., Jones, P.J.H.: Total energy expenditure of elite synchronized swimmers measured by the doubly labeled water method. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 83:1-6,2000.
- 5) 健康・栄養情報研究会編：第六次改定日本人の栄養所要量、(1999) 第一出版、東京
- 6) World Health Organization : Energy and Protein Requirements (1985) / 井上五郎訳：エネルギー・蛋白質の必要量 (1989) 医歯薬出版、東京
- 7) Westerterp, K. R.: Pattern and intensity of physical activity. *Nature*. 410, 539, 2001

G.研究発表

1.論文発表

- 1) 海老根直之、島田美恵子、田中宏暁、西牟田守、吉武裕、齊藤愼一、PJH. Jones: 二重標識水法を用いた簡易エネルギー消費量推定法の評価ー生活時間調査法、心拍数法、加速度計法についてー。体力科学 51:151-164.2002.
- 2) Ebine N, Rafamantanantsoa HH, Nayuki Y, Yamanaka K, Tashima K, Ono T, Saitoh S, Jones PJH: Measurement of total energy expenditure by doubly labelled water method in professional soccer players. *J Sport Sci* 20: 1-7, 2002.
- 3) 齊藤愼一、山中邦夫、海老根直之、名雪洋一郎：スポーツ選手のエネルギー代謝：プロサッカー選手の例。臨床スポーツ医学、18：427-432、2001年4月。
- 4) 齊藤愼一：運動習慣が1日の総エネルギー消費量に及ぼす影響：二重標識水法による検討、バイオメカニクス研究、5：111-118、2001年11月。
- 2) 鶴鷹幸一、海老根直之、角南良幸、重松森雄、田中宏暁、齊藤愼一：二重標識水法による女子長距離走選手の高所台宿時のエネルギー消費量測定。第56回日本体力医学会大会、仙台、2001年、9月。
- 3) Rafamantanantsoa Hoby Hasina、海老根直之、鶴鷹幸一、吉岡真由実、齊藤愼一、PJH. Jones : Total Energy Expenditure and Daily Physical Activity in Middle-aged Japanese Men. 第56回日本体力医学会大会、仙台、2001年、9月。
- 4) Rafamantanantsoa, H.H., Ebine, N., Yoshioka, M., Utaka, K., Yoshitake, Y., Tanaka, H, Jones, PJH., Saitoh, S: Assessments of total energy expenditure and daily physical activity in middle-aged Japanese men. North American Association for the Study of Obesity, Quebec City, 2001, Oct.
- 5) 齊藤愼一：スポーツ選手のエネルギー所要量に関する基礎研究：DLW法を用いて、第7回スポーツ栄養学セミナー、日本女子体育大学、東京、2001年、12月。
- 6) Rafamantanantsoa HH1, Ebine N1, Yoshioka M2, Higuchi H2, Yoshitake Y3, Tanaka H2, Jones PJH: Validation of Three Alternative Methods to Assess the Total Energy Expenditure against Doubly Labeled Water Method. 9th International Congress on Obesity, Sao Paulo, Brazil, 2002, Aug.

H.知的所有権の所有状況

なし

2.学会発表

- 1) Saitoh, S: Measurement of total energy expenditure by doubly labelled water method in professional soccer players. The 2001 Asia-Pacific Rim Conference on Exercise and Sports Science, Seoul, 2001, July.

研究成果の刊行に関する一覧表

著者氏名	論文タイトル名	発表雑誌	巻号	ページ	出版年
海老根直之、島田美恵子、田中宏暁、西牟田守、吉武裕、齊藤慎一、PJH. Jones:	二重標識水法を用いた簡易エネルギー消費量推定法の評価 - 生活時間調査法、心拍数法、加速度計法について -.	体力科学	51	151-164	2002
Ebine N, Rafamantanantsoa HH, Nayuki Y, Yamanaka K, Tashima K, Ono T, Saitoh S, Jones PJH:	Measurement of total energy expenditure by doubly labelled water method in professional soccer players.	J Sport Sci	20	1-7	2002
齊藤慎一、山中邦夫、海老根直之、名雪洋一郎	スポーツ選手のエネルギー代謝：プロサッカー選手の例	臨床スポーツ医学	18	427-432	2001
齊藤慎一	運動習慣が1日の総エネルギー消費量に及ぼす影響：二重標識水法による検討	バイオメカニクス研究	5	111-118	2001
吉武 裕	身体活動量評価のゴールドンスタンダード - 二重標識水法から歩数計まで -.	運動疫学研究	3	18-28	2002

20010585

以降のページは雑誌/図書等に掲載された論文となりますので
「研究成果の刊行に関する一覧表」をご参照ください。