

有 気 的 及 び 無 気 的 エ ネ ル ギ ー 代 謝 か ら
見 た グ ラ ス ス キ ー 競 技 の 生 理 学 的 特 性

所 属 学 科 目 体 力 学

著 者 名 中 川 直 樹

指 導 教 員 青 木 純 一 郎

合 格 年 月 日 平 成 3 年 3 月 / 日

論 文 審 査 委 員

形本 静夫

小宮 喜久

沢本 裕祐

目次		頁
第 一 章	緒 言	1
第 二 章	関 連 文 献 の 考 証	5
1	身 体 運 動 時 の エ ネ ル ギ ー 消 費 量 の 測 定	6
	1) 有 気 的 エ ネ ル ギ ー 消 費 量 の 測 定	6
	(1) ダ グ ラ ス バ ッ グ に よ る 影 響	6
	(2) 呼 気 採 集 の た め の 三 方 活 栓 操 作 の 無 線 化	8
	2) 無 気 的 エ ネ ル ギ ー 消 費 量 の 測 定	1 1
	(1) 酸 素 負 債 に 関 す る 研 究 の 歴 史	1 1
	(2) 非 乳 酸 系 お よ び 乳 酸 系 酸 素 負 債 の 算 出	1 3
2	ス ポ ー ツ 競 技 と エ ネ ル ギ ー 代 謝	2 1
	1) 短 距 離 走 と エ ネ ル ギ ー 代 謝	2 1
	(1) 1 0 0 m 走 の 特 徴	2 1
	(2) 1 0 0 m 走 の エ ネ ル ギ ー 代 謝	2 4

2)	水泳競技のエネルギー代謝	2 6
(1)	水泳の特徴	2 6
(2)	水泳のエネルギー代謝	3 0
3)	スピードスケート競技の エネルギー代謝	3 2
(1)	スピードスケート競技の 特徴	3 2
(2)	スピードスケート競技の エネルギー代謝	3 4
4)	アルペンスキー競技の エネルギー代謝	3 7
(1)	アルペンスキー競技の特徴	3 7
(2)	S L および G S L と エネルギー代謝	3 9
第 三 章	実験方法	4 4
1	被験者	4 4
2	測定項目と測定方法	4 4
1)	最大酸素摂取量	4 4
2)	グラススキー滑走時の 酸素摂取量、二酸化炭素	

	排出量、および換気量	
	の測定	4 5
(1)	コースの概況	4 5
(2)	無線式三方活栓操作装置	
	の作成	4 6
(3)	スタート前の測定	4 8
(4)	運動中の測定	4 8
(5)	運動後の測定	4 9
3)	血中乳酸濃度の測定	5 0
4)	グラススキー滑走時の	
	酸素需要量の算出	5 1
5)	グラススキー滑走時の	
	エネルギー源の相対的割合	
	の算出	5 2
6)	自転車エルゴメータによる	
	最大運動時のエネルギー	
	需要量の算出	5 2
3	統計処理	5 5
4	実験期間及び実験条件	5 5
第 四 章	実験結果	5 7

第 1 章 緒 言

グラススキー (GRASS SKI) 競技は、数十個のローラーのついた金属性のレール、キャンバス地のキャタピラベルトおよびエッジの役割をすするプラスチックプレートからなるスキー板を履いて行われる。

グラススキーのスキー板の長さは 80 ~ 90 cm でアルペンスキーの板よりも短い。そのため滑走時に前後のバランスを保つためにより高度な能力が求められる。

グラススキーは技術的には、スキー板の推進がキャタピラベルトであるため、線上の角付けでターンをコントロールすることができるので、ズレ幅の少ないターンを容易に行うことが可能である。さらに、グラススキーの板にはアーチバンドがほとんどないので、アルペンスキーのようにスキー板をたわませてターンをコントロールするのとは異なる技術59)が要求される。

グラススキー競技はアルペンスキー競技と同様にFISルールに従って行われ、¹⁸⁾ 競技種目は回転 (slalom、以下SLと略す) および大回転 (giant slalom、以下GSLと略す) を主体に行われる。それぞれの1回の競技時間はSL競技で25秒、GSL競技で50秒前後かかり、アルペンスキー競技に比べてやや短い傾向にある (SL競技で45秒、GSL競技で90秒前後)。

¹⁹⁾ Fox (1979) によれば、競技中のエネルギー代謝を知ることによって、

- 1) その競技独自のトレーニングをプログラムするための基本資料となる、
- 2) 疲労の防止と抑制に役に立つ、
- 3) 競技特性に合わせた栄養摂取が可能になる

など、様々な面よりより科学的にそのスポーツの競技特性を捉えることができるとしている。

アルペンスキー競技に関しては、アルペン

スキー競技の一流選手に、S L 競技 55 秒 およ
び G S L 競技 70 秒 の滑走を行わせた、S L 競
技のエネルギーは有気系から 36%、非乳酸系
から 24% および乳酸系から 40% 供給され、ま
た、G S L 競技ではその割合は、30%、29%
および 41% であることを示した Veicsteinas⁷⁵⁾
ら (1984) の報告をはじめこれまでに数多くの
報告がなされている。^{4),37),79)}しかし、グラススキー
競技については、グラススキーがこれまで主
としてアルペンスキーヤーのオフシーズンの⁷⁴⁾
トレーニング手段として用いられてきたこと
滑走時のシュミレーションを適切に行えない
ために実験室的研究がなされていないことな⁶⁸⁾
どから、現在のところその競技特性について
の生理学的研究の成果はほとんど得られてい
ない。

グラススキー競技はアルペンスキー競技と
技術面および時間面に違いがあるにもかかわ
らず、お互いの運動形態が似ていることから
特に体力トレーニングについてはアルペンス

キ一競技のトレーニング方法を参考にトレーニングを組み立てている状態にある。

そこで、本研究ではグラススキー競技の男子一流選手に、競技ルールに従って設定されたSLおよびGSL競技のコースを滑走させ、有気的および無気的エネルギー代謝を測定することによって、グラススキー競技のエネルギー代謝の面から見た生理学的特性を明らかにすることを目的とした。

第 2 章 関 連 文 献 の 考 証

身体運動時における3つのエネルギー発生機構からのそれぞれのエネルギー供給量を測定することは、エネルギー代謝から見た競技特性を理解することだけにとどまらず、⁸⁰⁾ トレーニング、栄養および疲労に対しての重要な指針を与えることになる。¹⁹⁾ しかし、グラススキー競技については、その歴史が比較的新しいこともあってそのような面からの研究が乏しいのが現状である。また、方法論的には無気的エネルギー代謝量（非乳酸性および乳酸性）を評価する方法について必ずしも十分にその妥当性が検討されていない。^{1), 80)}

そこで、本章では各機構からのエネルギー供給量を測定するための方法およびグラススキー競技に速度、競技時間あるいは運動形態が類似した他の競技種目のエネルギー代謝特性を理解することを中心に関連文献を考証する。

1 . 身 体 運 動 時 の エ ネ ル ギ ー 消 費 量 の 測 定

1) 有 気 的 エ ネ ル ギ ー 消 費 量 の 測 定

(1) ダ グ ラ ス バ ッ グ に よ る 影 響

エ ネ ル ギ ー 源 と な る 栄 養 素 が 、 力 学 的 仕 量 と な る た め に は 多 く の 化 学 的 変 化 を 経 な け れ ば な ら な い が 、 最 終 的 に は 酸 素 ⁵⁸⁾ に よ る 酸 化 反 応 に 行 き 着 く こ と に な る の で 、 運 動 中 に 摂 取 さ れ た 酸 素 量 が 有 気 的 エ ネ ル ギ ー 消 費 量 を 表 す こ と に な る ²⁹⁾ 。

運 動 中 の 酸 素 摂 取 量 を 測 定 す る た め の 携 帯 型 機 器 ⁷¹⁾ や テ レ メ ー タ 方 式 ⁷¹⁾ な ど も 最 近 は 開 発 さ れ て い る が 、 最 も 一 般 的 な 方 法 は ダ グ ラ ス バ ッ グ ⁷¹⁾ を 用 い た も の で あ る 。 し か し 、 ダ グ ラ ス バ ッ グ に よ る 測 定 で は 、 測 定 装 置 が 被 験 者 の 動 き を 妨 げ た り 、 余 分 な 空 気 抵 抗 を 生 む こ と に よ っ て パ フ ォ ー マ ン ス を 大 幅 に 低 下 さ せ る

ことが心配される。青木ら²⁾(1974)は、陸上競技の短距離走選手にダグラスバッグを背負わせて100m走を行わせたところ、疾走時間は自己最高記録より平均11%程度の増加であったことを報告している。したがって、ダグラスバッグを用いて測定を行う場合には、この程度のマイナスは止むを得ないのであろう。

ダグラスバッグによるエネルギー消費量測定時のもう一つの問題点は、呼気で膨らんだバッグによって空気抵抗が増加するため余分なエネルギー消費を促してしまうことである。D. I. Prampero⁶²⁾ら(1976)は回復期の酸素摂取量のタイムコースを最小自乗法により指数回帰して定常状態の酸素摂取量を算出する方法でスピードスケート滑走中の酸素摂取量を測定している。彼らの方法は、被験者に30ℓの容量の小さなバッグを装着して一定の速度(4~12 m/s)で滑走を行わせ、酸素摂取量が定常状態に達したと見なされた後(滑走開始後3~4分)に滑走を中止して採気を開始

する という も の で あ っ た 。 こ の 方 法 に よ っ て
滑 走 時 の 空 気 抵 抗 が ダ グ ラ ス バ ッ グ を 使 用 し
て い た 時 に 比 べ て か な り 減 少 す る と 思 わ れ る。
事 実 、 彼 ら は 、 E k b l o m¹⁵⁾ ら (1 9 6 7) が 大 き な ダ グ
ラ ス バ ッ グ を 背 負 っ て ス ピ ー ド ス ケ ー ト の 滑
走 (滑 走 速 度 5 ~ 1 0 m / s) を 行 っ た 時 に 得 た
酸 素 摂 取 量 の デ ー タ と 彼 ら の 実 験 を 比 較 し て、
滑 走 速 度 に 関 係 な く 1 分 間 に 体 重 1 kg 当 り 酸
素 5 ml 程 度 E k b l o m ら の 方 が 酸 素 消 費 量 が 多 く
な る こ と を 示 し て い る 。 し た が っ て 、 ダ グ ラ
ス バ ッ グ に よ る 空 気 抵 抗 の 増 加 が エ ネ ル ギ ー
消 費 に 及 ぼ す 影 響 は 無 視 す る こ と が で き な い
ほ ど 大 き く な る と 考 え ら れ 、 空 気 抵 抗 を 増 大
さ せ な い 工 夫 が 必 要 と な る こ と が 示 唆 さ れ る。

(2) 呼 気 採 集 の た め の 三 方 活 栓 操 作 の 無 線 化

短 距 離 走 、 ア ル ペ ン ス キ ー お よ び ス ピ ー ド
ス ケ ー ト 競 技 な ど で は 高 速 で ゴ ー ル に 選 手 が

飛び込んでくるのでゴール地点での三方活栓のcockの切り替え操作が大変難しい。かつては、補助者が被験者とゴール付近まで並走しcockを切り替えていたが、この方法では並走する験者にも限界があり、さらに正確性に欠ける。Saibeneら(1985)⁶⁷⁾は、アルペンスキーのGSL競技のゴール直後に、被験者が急停止してから呼気採集装置を装着するまでには平均で7.5秒経過していたことを報告しているが、非乳酸性の酸素負債は運動停止後2～3分で償却され、その半減時間はおよそ30秒であるという報告からも空白の7.5秒の持つ意味は大きいと考えられる。また、知久ら(1931)¹⁴⁾は、当時陸上短距離走の第一人者であった吉岡隆徳がスウェーデンリレーのアンカーとして400mを疾走しゴールした直後に酸素負債を測定するためにマウスピースを口にはめこんだところ、あまりの苦しさのために吐き出してしまい、この期間の換気量を後続する測定値から推算したことが報告されて

いる。

そこで、清水ら⁶⁹⁾(1969)はこれらの問題を解決するために呼気採集のための三方活栓のコックの切り替えを無線操作化することを試みた。彼らの考案した装置は確実な作動が得られる70～80mの範囲内において0.4秒でコックが切り替えられるというものであった。手動でコックを切り替える場合には切り替えにかかる時間が一定ではないので測定の誤差が生じやすいが、この装置を用いることでより正確な測定が行えることになったと言える。さらに、ゴール直後に採気装置やマウスピースを装着する必要もないので験者および被験者に対する負担が軽減されるものと思われる。したがって、コック操作および実験の正確性という点でゴールと同時に無線操作で三方活栓のコックを切り換えることのできる清水らの方法を利用することは高速で行われるスポーツ競技中のエネルギー消費量測定時に不可欠であると言えよう。

2) 無 気 的 エ ネ ル ギ ー 消 費 量 の 測 定

(1) 酸 素 負 債 に 関 す る 研 究 の 歴 史

無 気 的 エ ネ ル ギ ー 消 費 量 の 指 標 と し て は 酸
素 負 債 の 測 定 が 行 わ れ て い る 。 Hill と Lupton^{20), 38)}
(1923)²⁵⁾ は 酸 素 負 債 と は 運 動 停 止 後 の 回 復 期 に
利 用 さ れ る 酸 素 の 総 量 で あ る と い う 定 義 を 行
っ た 。 さ ら に 、 Hill ら (1924)²⁴⁾ は 、 高 強 度 お よ
び 長 時 間 の 運 動 後 の 酸 素 負 債 は 速 い 相 と 遅 い
相 か ら な り 、 速 い 相 で は 筋 に 蓄 積 し た 乳 酸 の
酸 化 除 去 を 遅 い 相 で は 筋 か ら 血 中 に 拡 散 し た
乳 酸 の 酸 化 除 去 を 行 う も の で あ る と す る 説 を
唱 え た 。

し か し 、 Margaria ら (1933)⁴¹⁾ は そ の 後 の 実 験
か ら 酸 素 負 債 を す べ て 乳 酸 と の 関 連 か ら 説 明
し よ う と し た Hill ら の 説 に 疑 問 を 投 げ 掛 け た。
す な わ ち 、 彼 ら は 筋 か ら 血 中 へ の 乳 酸 の 拡 散

が均衡を保たれるような一連の10分間のトレッドミル走を行わせて血中乳酸濃度と酸素負債の関係を観察したところ、酸素負債が3〜4ℓまでは明らかかな乳酸の増加が認められなかった。そこで、彼らは乳酸産生だけから酸素負債を説明することは困難であるものとした。このことから彼らは酸素負債生成には乳酸の産生による“乳酸性 (lactacid)”のもの、および乳酸の関与しない“非乳酸性 (alactacid)”による2つのメカニズムがあることを示唆した。

42)

MargariaとEdwards (1934)は年齢22歳、体重63kgの男性を被験者にして速度18.7km、傾斜11.5%のトレッドミル上を走らせ運動時間(t)の増加に伴う乳酸値の変化(ΔLA)を観察した。その結果両者の関係は、

$$\Delta LA = -65.9 + 4.33 t$$

の直線式で表すことができ、このことから乳酸を産生することなく約66mg%の乳酸産生時に相当するエネルギーを供給できることを見

いだし非乳酸性のメカニズムが存在することを確認した。

その約40年後に、KnuttgenとSaltin(1972)³⁵⁾
 およびD. I. Pramperoら(1973)が非乳酸性酸素
 負債生成の主たるメカニズムは分解した燐原
 質を再合成するための酸化過程にあることを
 説明している。

(2) 非乳酸性および乳酸性酸素負債の算出

⁴¹⁾
 Margariaら(1933)は若い競技者1人を被験
 者として4分30秒から6分で疲労困憊になる
 ようにトレッドミル上(速度18.7km/h 傾斜5
 %)を走らせたところ、回復期の血中乳酸濃
 度は最初の6分から8分目までを除くと次式
 のように対数的に減少していくことが観察さ
 れた。

$$L = L_0 + 10^{a - b \cdot t} \quad (1)$$

L: 時間 t における血中乳酸濃度

L₀: 安静時血中乳酸濃度

a, b: 定数

(1) 式を時間 t で微分すると乳酸除去速度

$-\frac{dL}{dt}$ が求められる。

$$-\frac{dL}{dt} = b \times \log_e 10 \times 10^{a-bt}$$

$$\doteq 2.3 \times b \times 10^{a-bt} \quad (2)$$

また、 $C_3H_6O_3$ (乳酸) + $3O_2 \rightarrow 3CO_2 + 3H_2O$ であるから乳酸の燃焼率を $1/5$ とすると酸素 1 l 当り実際に酸化される乳酸量 $-\frac{dTL}{dO_2}$ は

$$-\frac{dTL}{dO_2} = \frac{90}{22.4 \times 3} \times 5 \doteq 6.7 \text{ g/l} \quad (3)$$

となる。

Margaria⁴¹⁾らは体重の 72% および血液の 80% が水であると仮定し、体重 61.2 kg の被験者の乳酸値 1 mg% は全身で 0.55 g の乳酸量に相当するので、全身における乳酸除去の速度 $-\frac{dTL}{dt}$ は、

$$-\frac{dTL}{dt} = -\frac{dL}{dt} \times 0.55 \quad (4)$$

となるとした。また、

$\frac{dTL}{dt} = \frac{dTL}{dO_2} \times \frac{dO_2}{dt}$ ^{3c)} であるから、乳酸除去による酸素消費 $\frac{dO_2}{dt}$ は、

$$\frac{dO_2}{dt} = \frac{2.3 \times 6.55}{6.7} \times b \times 10^{a-bt} \quad (5)$$

となり、乳酸除去による酸素負債量は、(5)

式を積分することによって求められる。

$$\int_0^{\infty} dO_2 = \frac{0.55}{6.7} \times 10^4 \quad (6)$$

また、安静時酸素摂取量と乳酸性酸素負債量を除いた回復期の酸素消費量曲線は、3～4分間しか続かない速い相と、軽い運動では1.5時間、激しい運動では2時間以上続くかなり不規則で遅い相からなる。速い相は、ヘモグロビンなどと結合して体内に貯蔵される予備酸素メカニズムによる可能性が考えられるが100mlを越えることはないので無視し、遅い相を回復開始時まで外挿し酸素消費量曲線からこの部分を引いて求めた曲線は速い相の分析を可能にする。また、この曲線は乳酸性酸素負債と同様に対数型を示す。

$$\log \frac{dO_2}{dt} = a_1 - b_1 t \quad (a_1, b_1: \text{定数}) \quad (7)$$

$$\therefore \frac{dO_2}{dt} = 10^{a_1 - b_1 t} \quad (7)'$$

したがって、非乳酸性酸素負債は(7)'式を積分することによって求められる。

$$\int_0^{\infty} \frac{dO_2}{dt} \cdot dt = \frac{10^{a_1}}{2.3 \times b_1} \quad (8)$$

Margariaらの方法は複雑な実験を必要とす

ること、また乳酸の燃焼率、全身および血液の水分量の仮定の仕方によって求められる値にかなりの差が出てくるといった難点を持っていることから、推定値としては限界があるように思われる。

23)

Henry と De Moor (1950) は 9 人の被験者に回転数 61 rpm で 6 分間自転車エルゴメータを漕がせた時 (負荷は 690 および 920 kgm/min) の回復期酸素摂取量の動態を数学的手法を用いて示し、非乳酸性および乳酸性酸素負債を求めた。その結果、回復期の酸素摂取量は 2 つの成分からなる曲線

$$y = a_1 e^{-k_1 t} + a_2 e^{-k_2 t} \quad (9)$$

ただし、 y : 回復期のある時間 t における回復末期値以上の酸素消費量

a_1, a_2 : 回復開始時の酸素摂取量

k_1, k_2 : 速度定数

で置換することができ、第一項目が非乳酸性酸素負債を第二項目が乳酸性酸素負債を表していることを示した。

したがって、それぞれの項を積分することによって非乳酸性 (a_1/k_1) および乳酸性酸素負債量 (a_2/k_2) を求めることができる。

Henry と De Moor の方法は煩わしい実験を避けて酸素負債量の推定が行えるという意味では便利な方法であると考えられるが、回復期酸素消費量の動態を1時間近く観察する必要があるので、体温上昇の影響で増加した酸素摂取量 (Q_{10} 効果) などがこの中に含まれ過剰評価してしまう可能性が考えられる。

非乳酸性の酸素負債に関して D. Prampero⁶⁰⁾ ら (1973) はトレッドミルを用いて15~50秒で疲労困憊に陥るような運動を行わせた後の酸素消費量の動態を観察した結果、回復の最初の2分間でほとんど償却が完了していることを示した。また、Margaria⁴¹⁾ ら (1933) は軽い運動後においても3分間で非乳酸性の酸素負債の償却がほとんど完了していることを示している。この他にも2~3分間で償却が完了するという報告がいくつか見られる。

これらのことからいかなる運動強度においても非乳酸性酸素負債は回復期の最初の2～3分間で償却されるものと考えられる。

また、乳酸性の酸素負債に関して Margaria⁴⁸⁾ (1976)は、乳酸のカロリーー当量が解つていれば運動後の全乳酸量から乳酸性の酸素負債量を容易に計算することができると述べている。それと同様に、乳酸が一定量産生されたときに消費された酸素量(乳酸の酸素当量)が解れば乳酸性の酸素負債量を計算することができる。

⁶³⁾ Di Pramperoら(1978)は、0.6～1.8 m/sのあ
る一定の速さで front crawl を行った時の、
エネルギー消費量 ($\text{ml O}_2 / \text{kg} \cdot \text{min}$) を $\dot{V}O_{2 \text{max}}$ ($\text{ml O}_2 / \text{kg} \cdot \text{min}$) で除した値を、血中乳酸の増加率を
 $\dot{V}O_{2 \text{max}}$ で除した値 ($\text{mM} \cdot \text{kg} / \text{ml O}_2$) の関数として
プロットしたものを直線回帰し、その式の傾
きから、血液1ℓ当り乳酸が1 mmol増加した
ときの酸素当量は、体重1 kg当り2.7 mlであ
ると算出している。また、Margariaら(1963)⁴⁴⁾

Margaria⁴⁷⁾ら (1971) および Cerretelli¹²⁾ら (1967) は、ランニングを行った時の乳酸の酸素当量は $3.0 \sim 3.3 \text{ ml / kg}$ の範囲内であったことを報告している。

Gladden²²⁾と Welch (1978) は、酸素濃度が $13 \sim 21\%$ である混合ガスを吸入しながら自転車エルゴメータを漕がせた時の運動中の酸素摂取量および回復の血中乳酸濃度の変化から乳酸の酸素当量を求めた。その結果、多くの先行研究の結果 ($2.7 \sim 3.3 \text{ ml / kg}$) よりもかなり大きな値 (5.2 ml / kg) を報告している。ところが、

Di Prampero⁶⁴⁾ら (1981) は Gladden と Welch が計算に用いた酸素分圧 - 酸素摂取量関係および酸素分圧 - 血中乳酸濃度関係をそれぞれ回帰して求めた傾きの代わりに、酸素摂取量および血中乳酸濃度の絶対値を用いて Gladden と Welch のデータを再検討したところ酸素当量は $2.8 \sim 3.3 \text{ ml / kg}$ となったとしている。

この2つの実験事実を実験に応用したのが Veicsteinas⁷⁵⁾ら (1984) である。彼らはアルペン

スキー選手に S L 50 秒 および G S L 70 秒 の滑走を行わせ、回復期の最初の 2 分間で安静値以上に摂取された酸素量をエネルギー代謝の非乳酸性成分、回復 5 分目の血中乳酸濃度に酸素当量を掛けて求めた酸素量を乳酸性成分としてアルペンスキー滑走中の各エネルギー供給系の貢献度を調べている。彼らの方法は、非乳酸性酸素負債は回復期の 2 ~ 3 分までに償却されること^{23), 27)} および彼らの用いた乳酸の酸素当量 (3.15 ml / kg) は、多くの研究者が報告した^{2), 44), 47)} ほぼ一致した結果を平均して求めた値から成っているので、妥当性の高いものであるということが言える。さらに、彼らの方法は簡易な実験手順でしかも一人に要する時間が短くて済むので、彼らが行ったようなフィールド実験に最適であると考えられる。

2 . スポーツ競技とエネルギー代謝

1) 短距離走とエネルギー代謝

(1) 100 m 走の特徴

金子³¹⁾(1988)は、短距離走の走速度および走パワーはストライド(一步の距離)およびピッチ(1秒間の歩数)により決定されるが、その背景には一步ごとのキック力や関節を動かすパワーがあり、元をたどれば筋パワーに⁵³⁾依存することを示している。Meroら(1981)は、100 m 走の速度はピッチ(歩/秒)と高い相関($r = 0.69$ 、 $p < 0.001$)があり、さらに、ピッチはFT線維の割合と高い相関($r = 0.67$ $p < 0.001$)があることを報告している。このことから、筋パワーの背景にはFT線維の割合も関係していることを理解することができる。ヒトの筋線維組成は遺伝的要因によって決定されることが知られていることから、短距離

走者としての資質を持ち合わせているかどうか
かもパフォーマンスを決定する重要な要因と
なるう。

9)
Cavagna ら (1964) は疾走時のキック力を検
出することのできる圧力盤および体幹部に取
り付けた加速度計の信号を使用して 20 km / h で
疾走した時の運動エネルギー、位置エネルギ
ーおよび両者の和である外的仕事の変化を観
察した。その結果、運動エネルギーおよび位
置エネルギーの位相は一致しており、身体
の費やすエネルギーの指標である外的仕事はそ
れぞれの変化より著しく大きくなることが明
らかになった。また、ランニングではキック
による水平方向の成分だけが前進に対して有
効であり、運動中の位置エネルギーの増加分
は浪費されるエネルギーとなることから、上⁴⁸⁾
下への身体の動きはエネルギーを浪費させる
原因であり、走る技術によってエネルギーの
消費量が変化するものと言えよう。

さらに、前述した Cavagna らの実験におい

て、位置エネルギーと運動エネルギーの位相は一致し、外的仕事がそれぞれの変化より大きくなつたが、位置エネルギーと運動エネルギーとの間にエネルギーの転移は考えられないことから、筋に弾性エネルギーの形でエネルギーが蓄えられ再利用されるとの仮説が提示された。Cavagna と Kaneko (1977) は走運動の効率を最低でも 40%、高いところでは 70% にも達することを報告しているが、水泳 (54) (61) % 前後) や自転車 (~ 25%) (67) と比較してもかなり高いことが分かる。彼らは、走運動の効率が高くなるのは着地の瞬間に筋および腱に蓄積される弾性エネルギーが後半の筋収縮期に利用されるためであると説明している。(10)

このように、弾性エネルギーを利用できることが 100m 走の特徴であると言える。そして、弾性エネルギーの効果を引き出すには、Cavagna ら (1974) が指摘しているように、

- (1) 筋肉が十分活動状態にあること
- (2) 伸張から短縮への切り換えが素早くな

されること

の 2 条件を満たす必要がある。

(2) 100 m 走のエネルギー代謝

走運動には長短様々な種目があるが、短距離走はペース配分は行われずわずかに10秒余りの間に最大限の速さでエネルギーを絞り出すことが要求される。³¹⁾

Hirvonenら²⁶⁾(1987)は、100 m を10秒台で走る能力を持つ短距離選手に40、60、80および100 m を走らせ筋バイオプシーを行った結果、クレアチン磷酸(CP)は40 m 疾走後すでに100 m 疾走直後の水準まで低下していた。疾走速度が40 m 付近でほぼ最高に達していたので、ATP-CP系からのエネルギー供給に最高速度の出現が大きく関係しているものと考えられる。また、血中乳酸濃度はMargaria⁴⁷⁾ら(1971)の結果と同様にスタート直後から直線的に増加し、運動開始直後からゴールする

まで一定の割合で乳酸系のエネルギー代謝が行われていることを示した。したがって、ATP-CP系からのエネルギー供給が低下した後（40 m 以降）、主にエネルギーの供給を担うのは乳酸系となるが、非乳酸系よりもパワーは小さいので若干のスピードの低下が40 m 以降で観察される。²⁶⁾

青木ら²⁾（1974）は、100 m 走の記録と最高速度、乳酸性負債、非乳酸性負債および血中乳酸濃度との関係を報告している。彼らは、短距離選手9名および非鍛練者6名を被験者として100 m を疾走させ、ダグラスバッグ法により疾走中に呼気を採集し、ゴールの3分後に採血を行った。また、ゴール後の採気は、40秒までは20秒ずつ、2分までは40秒ずつ、4分までは1分ずつ、12分までは2分ずつ連続で行い、それ以後は3分おきに2分ずつ行った。走速度は、10対の投光器・受光器を利用して電子ストップウォッチで計測した10 m ほどの疾走時間から算出した。その結果、走

時間と有意な相関が認められたのは、全体では乳酸性負債の絶対量 ($r = -0.47$, $p < 0.05$)、パワーとしてみた総酸素負債量 ($r = -0.63$, $p < 0.01$)、および最高速度 ($r = -0.98$, $p < 0.01$)であったが、短距離選手群だけについて見てみると、最高速度との間にだけしか有意な相関が認められなかった。したがって、一般的には100m走の記録は乳酸性酸素負債に比例して良くなるが、競技水準がほぼ同一の短距離選手群では、乳酸性負債の個人差 (54.2 ~ 126.9 ml/kg) が大きく、走技術あるいは筋パワーなどその他の要因の影響が大きいものと推察される。

2) 水泳のエネルギー代謝

(1) 水泳の特徴

水泳競技の特徴は水という媒体を通して運動を行うことである。水は力を加えると容易

に變形し、エネルギーを吸収してしまう粘性抵抗である。³¹⁾したがって、力の支点となるものが流体であって、陸上運動のように固い不動の地面が力の支点となるのに比べ推進力を得るために水を動かすという大きな仕事をしなければならぬこと、および熱伝導率の高い水中で運動を行うために、水に多量の熱エネルギーを奪われてしまう理由により水泳の機械的効率が低下するものと考えられる。⁵⁴⁾

Dr. Prampero⁶¹⁾ら(1974)は、よくトレーニングされた男子大学生10名に0.55および0.90 m/sの泳速でoverarm crawlを行わせ、その時の $\dot{V}O_2$ およびactive dragの関係から水泳の機械的効率は2~7%となることを報告している。また、宮下⁵⁴⁾(1970)は水泳の効率(E)を次式から求められることを示した。

$$E = 4.55 V^{-0.44} \quad (V : \text{泳速度})$$

この式から、泳速1.5 m/sの時の効率は3.8%、2.0 m/sで3.3%となり、速度の増加とともに¹¹⁾効率は低下する。また、走行時(40%~)や

自転車駆動時 (25%)⁶⁷⁾ に比べると水泳の効率はかなり低い。

水は空気に比べると密度が大きいので、水泳中にはかなりの抵抗感があることも陸上運動に比べると大きな特徴であろう。³¹⁾

宮下 (1970)⁵⁴⁾ は、日本のオリンピック候補選手 23 名とアメリカの選手 5 名について、伏臥姿勢を取り頭部を水中に入れた状態で牽引した時の人体水抵抗 (passive drag) を測定している。その結果、水抵抗はスピードのおよそ二乗 ($R = 2.51 V^{1.92}$) に比例して増加することが明らかになった。また、アメリカ選手の結果も日本選手の散らばりの中に入ってしまうことから、身体の大きい者が抵抗も大きいとは言えないとしている。これに対して、

Chatard¹³⁾ ら (1990) は牽引の速度を 1.4 m/s に設定した時の passive drag の測定を行った結果 passive drag は体表面積と有意な相関 (男子 $r = 0.73$ および女子 $r = 0.53$ 、それぞれ $p < 0.01$) があつたが、競技成績とは有意な正の相

関は見られなかったことを報告している。

van ManenとRijken⁴⁰⁾(1975)は、各1人ずつのオリンピックおよび世界チャンピオンと平均的な水泳選手のpassive dragを比較したところ、3人は同じような体型であったにもかかわらず2人のチャンピオンの方がpassive dragが小さかったことから競技成績が良かったものと推測している。

このような違いが見られる原因として、抵抗を測定する体位が異なること、頭部を水中に入れるか入れないかの違いあるいは呼吸による浮力の変化などが影響しているものと思われる³⁾。しかし、実際の水泳では動作に伴って姿勢が刻々と変化するのでそれによって抵抗値も変化するものと考えられる。つまり、passive dragが影響を与えるのは伏臥姿勢すなわちスタートおよびターンの時であると考えられるが、スタートとターンの時間的に占める割合はほんのわずかであるのでパフォーマンスとは関連が薄いものと思われる。

(2) 水 泳 の エ ネ ル ギ - 代 謝

Karpovichと Millman (1944)³²⁾ が 24名 の 被 験 者 (22才 から 26才 までの 男子 大 学 生 15名 お よ び 15才 から 22才 までの 女 子 9名) を 用 いて、水 泳 中 の 酸 素 摂 取 量 と 泳 速 度 の 間 に は 指 数 関 数 的 関 係 が あ る こ と を 示 し て 以 来 こ の 説 を 指 示 す る 研 究 結 果 が 数 多 く 発 表 さ れ て い る。^{3), 6)}

し か し、McArdle ら (1971)⁵¹⁾ は Karpovich と Millman の 実 験 は、止 息 し て 60 ~ 120ft の 距 離 を 泳 い だ 後 の 回 復 時 (20 ~ 40分) の 酸 素 摂 取 量 を 水 泳 中 の エ ネ ル ギ - コ ス ト と し て 求 め て い る た め に 過 大 評 価 し て い る 可 能 性 が あ る こ と を 指 摘 し た。そ し て、彼 ら は 鍛 練 さ れ た 男 子 大 学 水 泳 選 手 に 4分 間 間 欠 的 に 最 大 レ ベ ル ま で 泳 が せ、水 泳 中 の 酸 素 摂 取 量 と 運 動 強 度 (泳 速 度) と の 間 に は 直 線 的 関 係 が あ る こ と を 示 し た。彼 ら の 結 果 は 2人 の チ ャ ン ネ ル ス イ マ ー に つ い て 行 っ た Pugh ら (1960)⁶⁵⁾ の 結 果 に 一 致 し、さ ら に 2人 の オ リ ン ピ ッ ク ス イ マ

一について報告した Faulkner (1968)⁷⁷⁾の結果とも近似している。

泳速度とエネルギーコストとの間に直線的あるいは指数的関係という異なる関係が報告される理由として、1) 被験者の鍛練度が異なり、泳速度に大きな違いがあること 2) 酸素摂取量の測定方法が異なることなどが考えられる。⁵⁹⁾

Montpetit ら (1983)⁵⁶⁾は、一定の速度 (1.2 m/sec) で泳ぐ時のエネルギーコストは、エリート群男子で 11.9 および女子で 11.8 J/kg·m、若年群男子で 13.1 および女子 13.2 J/kg·m であり、Margaria (1963)⁴³⁾のランニングのエネルギーコスト (4.2 J/kg·m) の約 3 倍であること報告している。また、Di Prampero ら (1974)⁶¹⁾は、約 1 m/s までの速度におけるエネルギーコストは 15.7 J/kg·m となることを報告している。Montpetit らの報告したエリート群男子のエネルギーコストが、Di Prampero らのものよりも泳速が速いにもかかわらず小さいのは被験者

の鍛練度の違いであろうと考えられる（ちなみに、Montpetitらの被験者は全員が国際大会出場者であるのに対して、Di Pramperoらの被験者は大学生の水泳選手であった）。また、この他にエネルギーコストに影響を及ぼす要因として、体密度および水中体重が知られている⁵⁶⁾。

3) スピードスケート競技のエネルギー代謝

(1) スピードスケート競技の特徴

スピードスケート滑走時に空気抵抗の影響を少しでも少なくするために両腕を後方へ回し、上体を氷面に平行に屈曲する独特な滑走姿勢⁵⁾を取っている。したがって、ランニング中のような垂直方向への著しい重心の移動はなく、身体の重心は氷の表面に対して比較的平行に移動する。この独特な姿勢を取って滑

走することによって脚に等尺性筋収縮が強いられるために、脚の筋への酸素供給が不十分となり、乳酸産生が促進される。⁵⁾

滑走中の空気抵抗 (R) は、空気抵抗係数 (C_D)、空気密度 (ρ)、風速 (V) 前面投影面積 (A) の 4 つの因子により決定され、

$$R = C_D \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A$$

の式で表される。⁵⁾ Thoman は冬季五輪 3 位の選手に風洞実験を行い、10 m/s の速度では外的仕事の 70% が空気抵抗に打ち勝つために使われ、残りの 30% が氷の摩擦に打ち勝つために使われると計算している。また、彼はスキンダイバー用のスーツを着用したり、後方に腕を組むことによって空気抵抗係数や前面投影面積値をできる限り小さくすることによって空気抵抗を減らすことができる⁵⁷⁾と指摘している。また、根本 (1982) はアルペンスキーの風洞実験の結果をもとに、体重 70 kg のスケーターが 10 m/s で滑走すると空気抵抗は 20.8 N となり、14 m/s の滑走時には 40.7 N を示し、滑

走速度が速くなるほど空気抵抗の増大することを示唆している。

⁴⁶⁾
Margaritaら(1968)は走速度10m/sでの空気抵抗は、体重1kg当り35gであるとしていることから、体重70kgの人が100mを10.0秒で走ったとすると、その時の空気抵抗は約2.5kgとなる。また、⁴⁶⁾Pugh(1971)によれば10m/sで走ったときのエネルギー需要量の13.6%が空気抵抗に打ち勝つために費やされることが報告されている。このことから、スピードスケート滑走時における空気抵抗の影響は疾走時と比較して非常に大きなものであることが分かる。

(2) スピードスケート競技のエネルギー代謝

⁴⁷⁾
真島(1972)は日本のトップレベルのスピードスケート選手男女各6名を対象に滑走中および回復期の酸素摂取量をダグラスバッグを

用いて測定を行っている。滑走中およびゴールと同時に進むコックの操作は被験者自身によって行われた。また、滑走後の回復過程は50分間連続採気した。その結果、約40秒間の500 m滑走では酸素需要量は約9～12ℓでありその内の約20%が滑走時に摂取され、残りの80%が滑走後に酸素負債としてまかなわれることが分かった。また、陸上競技の400 m走(約60秒)と比較すると酸素需要量は15ℓで酸素負債量が12ℓとやや多いが、酸素需要量に占める酸素摂取量と酸素負債量の比率はほぼ同等なものであったとしている。

Prampéroら(1976)²⁾は、13名のスピードスケート選手に4～12 m/sの範囲の速度で滑走させた時のエネルギー消費量を酸素摂取量と血中乳酸濃度から求めた。その結果、1 kg・m当りのエネルギー消費量は滑走速度の増加と共に増え、またそのエネルギー消費量($E_{t.}$)と滑走速度(v)との関係は、

$$E_{t.} / v \text{ (ml / kg \cdot m)} = 0.049 + 0.44 \times 10^{-3} v^2$$

で表せるとした。ここで、定数 0.049 は重力および慣性力に対して消費されるエネルギー量を、また $0.44 \times 10^{-3} v^2$ の項は空気抵抗に対して消費されるエネルギー量を表している。

上式から滑走速度 10 m/s の時に $1 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 当りのエネルギー消費量は 0.093 ml となり、これは同じ速度でランニングを行ったときの⁴³⁾ エネルギー消費量のおよそ $1/2$ の値である。この理由として、スピードスケート中には身体の重心は氷の表面に対し比較的平行に移動しているのでランニング中のような垂直方向への著しい重心の移動はない。したがって、身体を前進させること以外に費やされるエネルギーがランニングよりも少なくなるので総エネルギー消費量も少なくなるものと考えられる。また、彼らによるスピードスケート滑走後の血中乳酸濃度分析の結果からは、乳酸産生による無気的なエネルギー代謝は 10 m/s 以上の滑走速度に到達しなければ、全体のエネルギー消費に対して無視できる程度の割合しか関

与していないことも明らかになった。⁶²⁾

4) アルペンスキー競技のエネルギー代謝

(1) アルペンスキー競技の特徴

アルペンスキー競技は水泳競技、スピードスケート競技およびランニングとは違い前進すなわちスキーを滑らせる力は主に重力の作用による。^{33), 59), 81)}

斜面上に立つスキーヤーがもつエネルギーはスキーヤーの総重量 (W) と高さ (h) の積である。このエネルギーを位置エネルギー $P(E)$ と言い

$$P(E) = W h = m g h$$

(m : 質量、 g : 重力加速度)

で表すことができる。この位置エネルギーは落下によって速さを増加させることのできるエネルギー (運動エネルギー) を潜在的に持っている。

アルペンスキー競技はスキーヤーの持つスキーを滑らせるエネルギーをできるだけ浪費することなく規制されたコースを滑走する種目である。スキーを滑らせるエネルギーを減少させる要因として滑らせる力の作用方向とは反対の方向から作用する抵抗力があり、この力には除雪抵抗、摩擦抵抗および空気抵抗が考えられる。その内特に空気抵抗がアルペンスキー競技の滑走速度に対して多大な影響を与えることが知られている。⁷⁸⁾

渡部と大築⁷⁷⁾(1972)は風洞実験によつてアルペンスキー競技の滑走姿勢を取つた時の風速の違いによる空気抵抗の変化、風速を一定にした時の滑走姿勢の変化に対する空気抵抗の変化および腕の位置による空気抵抗への影響を測定した。

その結果、風速 10 m/s のとき空気抵抗は約 2 kg であるが風速 20 m/s になると空気抵抗は4倍の約 8 kg となる。また、風速 30 m/s でスキーヤーの姿勢を変化させたときの空気抵抗

は卵型姿勢で約 12 kg であるのに対して中腰姿勢では約 20 kg にもなる。さらに、両腕を左右に伸ばした姿勢を取った時、空気抵抗はさらに約 5 kg 増加するということが分かった。

アルペンスキー競技の平均スピードは、スラローム (S L) 競技で 11 m / s、ジャイアントスラローム (G S L) 競技で 17 m / s であり、³⁷⁾ さらに滑走中はバランス保持のために両腕を左右に伸ばした姿勢を取るのので、それぞれのレース中に受ける空気抵抗は 7 kg および 13 kg 前後になると予想され、滑走中のエネルギー消費量に大きく影響するものと思われる。

(2) S L および G S L とエネルギー代謝

⁷⁹⁾

山田と安部 (1985) は男子ナショナルチームに所属する 3 名のアルペンスキー選手に S L 競技および G S L 競技を実際に滑走させ、その時の心拍数を記録すると共に、各被験者の心拍数 - 酸素摂取量関係から滑走中の酸素摂取量を推定している。その結果、滑走中の心

拍数は170～190拍／分の範囲であり最大酸素摂取量測定時に観察された最高心拍数の90～98％に相当することを明らかにしている。また、心拍数－酸素摂取量関係から滑走中の酸素摂取量を推定するとSL競技で最大酸素摂取量の80％前後、GSL競技で約95％であったとしている。この結果は、約1分で有氣的エネルギー供給系がエネルギー供給の主体をなすという生田と猪飼²⁸⁾(1973)の報告と一致するものであると思われる。

渡辺ら²⁸⁾(1958)は全日本選抜回転競技(昭和31年)に参加した選手を被験者として、安静時および滑走時に、ダグラスバッグおよびマスクを装着したまま全長680mのコースの直滑降とSLを行わせ、その時のエネルギー消費量の差から、SL滑走に必要なエネルギー量は28.0 kcalであることを示した。

Veicsteinasら²⁵⁾(1984)は国際級のアルペンスキー選手を被験者としてSL競技は平均で55秒、GSL競技は70秒間滑走するコースを

用いて、滑走中と回復期の酸素消費量および滑走後の血中乳酸濃度から、両種目の有氣的および無氣的エネルギー代謝の割合を求めた。その結果、S L 競技は有気系から 36%、非乳酸系から 24%、乳酸系から 40%、また、G S L 競技は有気系から 30%、非乳酸系から 29%、乳酸系から 41% それぞれエネルギーが供給されていることが推定された。また、滑走時の酸素需要量は、S L 競技および G S L 競技でそれぞれ 99.2 および 82.9 ml / kg · min となりこの値は最大酸素摂取量のそれぞれ 2 および 1.6 倍に相当していた。

同様に、Saibeneら (1985) ⁶⁸⁾ も国際級の被験者を用いて約 80 秒間の G S L 滑走時のエネルギー代謝の割合を報告している。彼らの方法は、滑走コースを 1/3 に区切り、測定された各区間の酸素摂取量をプロットし指数回帰することによってトータルの酸素摂取量求めるというものであった。その結果、有気系から 46.3%、非乳酸系から 28.3%、乳酸系から 25.4%

3% であると推定している。これらの結果から、60～90秒前後で終了するSLおよびGSLのエネルギー代謝は有気系からの貢献度も全体の1/3程度を占めることが明らかである。

このようにアルペンスキー競技についてはエネルギー代謝に関する研究が多方面から行われている。また、アルペンスキー競技は60～90秒前後で競技を終了するスポーツであり、その動作自体が複雑で、容易にエルゴメトリ⁵⁸⁾できないことから、フィールド⁵⁹⁾においてのみ滑走時の生体情報を得ることができるとの研究上の特色であろう。

以上のように様々な種目についてエネルギー代謝に関する研究が行われているが、このような面から競技特性を知るとは、トレーニング・プログラム作成のための基礎資料、疲労に関する示唆あるいは栄養処¹⁴⁾方に関する情報の方針が得られるからである。また、その情報は体育方法学あるいはコーチ学までに

も波及する可能性を持っている。つまり、エネルギー代謝の面から競技特性を理解することは、その競技全体を把握するための重要な基礎資料となりうる性格を持つと言えう。

第 三 章 実 験 方 法

1 . 被 験 者

被 験 者 は グ ラ ス ス キ ー の ナ シ ョ ナ ル チ ー ム
 に 所 属 し 、 国 内 大 会 に お い て 第 一 シ ー ド グ ル
 ー プ の 選 手 と し て 出 場 経 験 の あ る 現 役 の 男 子
 選 手 10 名 で あ っ た (表 1) 。 彼 ら の 平 均 年 齢 表 1
 か ら 見 た 身 体 的 特 徴 は 、 身 長 の 割 に 体 重 が や
 や 重 い こ と を 除 い て は ほ ぼ 一 般 的 で あ っ た 。 55,78)

事 前 に 、 各 被 験 者 に 実 験 の 目 的 、 方 法 お よ
 び 予 見 さ れ る 問 題 点 に つ い て 説 明 を 行 い 、 被
 験 者 と し て 協 力 を 依 頼 し た 。 そ の 結 果 、 全 員
 快 く 被 験 者 を 志 願 し 承 諾 書 (付 表 1) に 署 名 付表 1
 し た 。

2 . 測 定 項 目 と 測 定 方 法

1) 最 大 酸 素 摂 取 量

実験の初日に各被験者の最大酸素摂取量を測定するために、自転車エルゴメータ (MONARK 818: MONARK 社製) を用いて負荷漸増最大運動テストを行った。ペダルの回転数は 60 rpm とし負荷 0 の空漕ぎからスタートし、2 分毎にブレーキ抵抗を 0.5 kp ずつ増加させ、メトロノーム (SQM-342: SEIKO 社製) のリズムと合わなくなるまで漕がせた。⁵²⁾

運動中の換気量は熱線式流量計 (ATD-280: ミナト医科学社製) を用いて 1 分ごとに計量した。また、その一部を赤外線式およびジルコニア素子式ガス分析器 (MG-360: ミナト医科学社製) を用いて二酸化炭素および酸素濃度について分析した。なお、両分析器はショランダー微量ガス分析器を用いて化学的に分析した既知濃度の標準ガスによって校正した。

2) グラススキー滑走時の酸素摂取量、二酸化炭素排出量および換気量の測定

(1) コースの概況

両コースの設定は、1988年に野辺山で行われた全日本A級選抜グラススキー大会の上位6名における平均タイム（SL競技約22秒、GSL競技約42秒）に近づくように行われた。

その結果、SL競技のコースはスタートおよびフィニッシュ地点の標高が1522mおよび1415m、全長323m、平均斜度 17° ならびに旗門数23であった。GSL競技の実験コースは、スタートおよびフィニッシュ地点の標高が1540mおよび標高1415m、コース全長610m、平均斜度 17° ならびに旗門数23であった（図1）。

(2) 無線式三方活栓操作装置の作成

高速で滑走中のゴール地点でのコックの切り換えを正確に行うため、清水ら(1969)によって試作されたものに若干の改良を加えた。その原理は、無線送信機からの信号を受信機

がサーボモータに伝え、サーボモータの回転がそのモータの回転軸の先端に固定した金属性の歯車に伝わり、もう一方の歯車と噛み合せて弁を開閉させるというものであった(図2)。

送信機 (FP-T2NBR: 双葉電子工業社製) の規格は送信周波数: 27.095MHz 、変調方式: AM、電源: 12V 受信機 (FP-R102JE: 双葉電子工業社製) の規格は、受信周波数: 27.095MHz 、電源: $4.8\sim 8.4\text{V}$ 、重量: 25g 、サイズ: $33\times 47.4\times 19.8\text{mm}$ 、受信距離: 空中にて 300m 、およびサーボモーター (FP-S148: 双葉電子工業社製) は動作角度: 片側 45° 以上、電源: 4.8 又は 6.0V で受信機と共通、出力トルク: $3\text{kg}\cdot\text{cm}$ 、動作スピード: $0.22\text{sec}/60^\circ$ 、寸法: $40.4\times 19.8\times 36\text{mm}$ 、重量: 44.4g であった。

なお、本実験で改良された点は、ダグラスバッグとの接続口に厚手のゴム管 (直径 42mm 、内径 32mm) を使用することによって三方活栓がより軽量化 (三方活栓の重量 145g) された

ことである。

(3) スタート前の測定

被験者は朝食の2時間後にゲレンデに集合し、全員スキーブーツおよびグラススキーを装着した。準備のできた被験者から無線式三方活栓装置の取り付けられた背負子を背負ったまま日陰に置かれた椅子に座らせ、3分間ダグラスバッグに呼気を採集した。採集した呼気は湿式ガスメータ (W - N K - 5 A : 品川計測器製作所製) にて計量した。同時に、その一部を容量 400 ml のサンプリングバッグに採集し前述のガス分析器を用いて CO_2 および O_2 濃度について分析を行った。

(4) 運動中の測定

被験者は運動前値を測定した後、ウォーミングアップのための滑走を実際のコースを使

つて 2 回 行 っ た 。 数 10 分 間 の 休 息 後 、 リ フ ト
で ス タ ー ト 地 点 に 移 動 し 、 何 も 装 置 を 付 け な
い で タ イ ム ト ラ イ ア ル を 1 回 行 っ た 。 そ れ か
ら 、 1 時 間 の 休 息 を は さ ん で 再 び ス タ ー ト 地
点 に 戻 り 、 容 量 150 l の ダ グ ラ ス バ ッ グ を 2 つ
取 り 付 け た 背 負 子 (総 重 量 約 4 k g) を 背 負 い
ス タ ー タ ー の ” ゴ ー ” の 掛 け 声 で 滑 走 を 開 始
し た 。

な お 、 ス タ ー タ ー の 合 図 と 同 時 に 、 験 者 は
出 走 の 邪 魔 に な ら な い よ う 素 早 く ダ グ ラ ス バ
ッ グ の コ ッ ク を 開 いた 。 ダ グ ラ ス バ ッ グ は 滑
走 中 の 空 気 抵 抗 が 大 き く な ら な い よ う に 2 つ
折 り に し て ひ も で 固 定 し た 。

K N 、 S Y 、 Y I 、 T M お よ び H H は G S L (2 日 目
に 実 施) お よ び S L (3 日 目 に 実 施) 両 方 の
実 験 を 行 い 、 他 の 被 験 者 は G S L あ る い は S
L の い ず れ か 一 方 を 行 っ た 。

(5) 運 動 後 の 測 定

被験者がゴールすると同時に、無線送信機で三方活栓の弁を切り換えた。被験者にはゴール後できるだけ早く滑走を停止させて椅子に座らせ、呼気をゴール2分後まで採集した。2分経過後、運動中の採気を行ったバッグと運動後の呼気を採集したバッグとを取り外し、運動前と同じ方法で呼気量を計量し、それぞれの CO_2 および O_2 濃度の分析を行った。

3) 血中乳酸濃度の測定

運動前の呼気採集終了後および被験者がゴールしてから3分と5分(SL)あるいは5分と7分(GSL)に指尖よりReplacement tube(Drummond社製)に約 $50\mu\text{l}$ 採血した。

その後、 $25\mu\text{l}$ のSyringepet(YSI社製)でReplacement tubeから2回血液を採取し、1回目に採取した血液は捨て、2回目に採取した血液を乳酸濃度の分析に用いた。

血中乳酸濃度の分析には、既知濃度の乳酸標準液（ $44.5 \pm 0.9 \text{ mg/dl}$ および $133.6 \pm 2.7 \text{ mg/dl}$ ）で較正された固定化酵素膜電極による乳酸分析器（MODEL-27: YSI社製）を用いた。

なお、GSL競技についてはゴール後5分の血中乳酸濃度が7分のものよりも、SL競技については3分の血中乳酸濃度が5分のものよりもそれぞれ有意に高かった（ $P < 0.001$ および $P < 0.01$ ）ので、乳酸値のデータとしてこれらを用いた。

4) グラススキー滑走時の酸素需要量の算出

グラススキー滑走時の酸素需要量を以下の⁷⁵⁾ Veicsteinas ら（1984）の方法に従って求めた。

$$\Delta V O_{2 t . t} = \Delta V O_{2 e x} + \Delta V O_{2 r e c} + \Delta V O_{2 L A}$$

ただし、

$\Delta V O_{2 t . t}$: グラススキー滑走時の酸素需要量

$\Delta V O_{2 e x}$: 運動中の酸素摂取量 - 安静時の酸素

摂取量で求められエネルギー代謝の
有気的成分

$\Delta V O_{2 r e c}$: 運動終了後 2 分までの酸素摂取量 -
安静時の酸素摂取量で求められエネ
ルギー代謝の非乳酸性の成分

$\Delta V O_{2 L A}$: (運動終了後 3 分あるいは 5 分の血
中乳酸濃度 - 安静時の血中乳酸濃度
) $\times 3.15 \times$ 体重 * で求められエネ
ルギー代謝の乳酸性の成分

5) グラススキーの滑走時のエネルギー源の
相対的割合の算出

$\Delta V O_{2 t o t}$ を 100% として、 $\Delta V O_{2 e x}$ 、 $\Delta V O_{2 r e c}$
および $\Delta V O_{2 L A}$ の相対的割合を求めた。

6) 自転車エルゴメータによる最大運動時の
エネルギー需要量の算出

グラススキー滑走時のエネルギー需要量の
* 血中乳酸濃度の上昇分に見合う酸素消費量
は、血中乳酸が血中 1 μ 当たり 1 mmol 増加し
たときの乳酸当量を体重 1 kg 当たり 3.15 μ O_2
として換算した。

特徴を検討するために実験室で自転車エルゴメータによる最大運動時のエネルギー需要量の測定を行った。

被験者は実験室に出頭した後、野辺山の実験で使用した三方活栓の取り付けられた背負子を背負い採気マスクを装着し、室温25℃湿度60%に調節された恒温恒湿室で10分間椅子に座って安静を保った。その後3分間呼気をグラスバグに採集した。採気終了後自転車エルゴメータのサドルの高さを調節し、トゥストラップで足を固定した。験者の合図で自転車エルゴメータ漕ぎを開始すると同時にダグラスバグ（容量150ℓ）のコックを無線操作で開いた。

8)
負荷は体重1kg当たり0.075kpとし、運動時間は20秒あるいは50秒とした。漕ぎ終わると同時に無線操作でコックを切り換え、もう一方のダグラスバグ（容量150ℓ）に2分間呼気を採集した。

換気量の計量は野辺山の実験と同じ方法で

行 っ た 。 ま た 、 呼 気 の 分 析 は 、 ポ ー ラ ロ グ ラ
フ ィ ー お よ び 赤 外 線 に よ る ガ ス 分 析 器 (O M
- 11、 L B - 2 : B e c k m a n 社 製) を 用 い て 酸
素 お よ び 二 酸 化 炭 素 濃 度 に つ い て 行 っ た 。 な
お 、 両 分 析 器 は 予 め シ ョ ラ ン ダ ー 微 量 ガ ス 分
析 器 で 化 学 的 に 分 析 し た 既 知 濃 度 の 標 準 ガ ス
に よ っ て 較 正 し た 。

採 血 は 予 備 実 験 の 結 果 か ら 自 転 車 エ ル ゴ メ
ー タ 漕 ぎ 前 お よ び 終 了 後 3 分 (20 秒 間 の 自 転
車 エ ル ゴ メ ー タ 漕 ぎ の 時) あ る い は 5 分 (5
秒 間 の 自 転 車 エ ル ゴ メ ー タ 漕 ぎ の 時) に 行 い、
そ れ ぞ れ 採 血 後 直 ち に 血 中 乳 酸 濃 度 を 前 述 の
乳 酸 分 析 器 で 分 析 し た 。 得 ら れ た デ ー タ か ら
グ ラ ス ス キ ー 滑 走 時 と 同 じ 方 法 で エ ネ ル ギ ー
需 要 量 を 算 出 し た 。 な お 、 運 動 時 間 の 異 な
る 2 つ の 自 転 車 エ ル ゴ メ ー タ 最 大 駆 動 の 実 験
に お い て 1 回 目 お よ び 2 回 目 の そ れ ぞ れ の
測 定 値 (ΔV_{O_2ex} 、 ΔV_{O_2ro} お よ び ΔV_{O_2LA})
に は 統 計 的 な 有 意 差 が 見 ら れ な か っ た の で 、
2 回 目 の 測 定 値 を 最 大 駆 動 時 の デ ー タ と し て

用いた。

3 . 統 計 処 理

測定で得られたデータは、増山⁵⁰⁾に従って棄却検定を行い、有意水準 5 % 以下の範囲に入るデータは集団の中心的傾向から有意に離れているものとして棄却した。実験時の滑走記録と各測定データ間の相関の有意性については、それぞれの 2 変量間の相関係数を求めて有意水準 5 % 以下として検定した。

滑走終了後、3 分と 5 分および 5 分と 7 分の血中乳酸濃度の平均値の差および呼気採集装置の有無による滑走タイムの差の検定は、Student の t テストによって有意水準を 5 % 以下として検定した。

4 . 実 験 期 間 及 び 実 験 条 件

グラススキーに関する実験は 1990 年 7 月 25

日 ~ 28日 および自転車エルゴメータによる実験は10月21日 ~ 28日に、それぞれ長野県の野辺山ハイランドスキー場および順天堂大学運動生理学実験室内の恒温恒湿室で行った。野辺山ハイランドスキー場の実験時の平均気温は 24.7 ± 3.2 ℃、相対湿度は 67.6 ± 9.4 %、気圧は 636.9 ± 2.4 mmHg、天候は晴れおよび無風状態であった。また、恒温恒湿室の平均室温は 24.8 ± 0.4 ℃、相対湿度は 62.5 ± 1.0 %および気圧は 759.4 ± 4.8 mmHgであった。

第 四 章 実 験 結 果

1) 滑 走 タ イ ム

呼 気 採 集 装 置 の 有 無 に よ る S L お よ び G S L の 滑 走 タ イ ム を 表 2 に 示 し た 。 S L で は 8 例 中 1 例 が 、 ま た 、 G S L で は 7 例 中 4 例 が 、 呼 気 採 集 装 置 を 装 着 し た 時 の 方 が 滑 走 タ イ ム が 良 く 、 滑 走 タ イ ム の 平 均 値 の 差 は 、 S L で 0 . 8 8 秒 お よ び G S L で 0 . 4 0 秒 と な り 、 両 滑 走 と も 装 置 装 着 に よ る 影 響 は ほ と ん ど 見 ら れ な っ た 。

表2

2) 酸 素 需 要 量

S L と G S L 滑 走 時 お よ び 同 じ 装 置 を 用 い て 測 定 し た 2 0 秒 と 5 0 秒 間 の 自 転 車 エ ル ゴ メ ー タ 全 力 駆 動 時 に 得 ら れ た 測 定 値 を 表 3 に 示 し た 。

表3

測 定 値 $\Delta V_{O_2 \text{ max}}$ と $\Delta V_{O_2 \text{ min}}$ お よ び 血 中 乳 酸

濃度から酸素量に換算された値 $\Delta V_{O_2 L_A}$ の総和である酸素需要量 ($\Delta V_{O_2 \dots}$) は、S L で 3.488 ± 0.621 l、G S L で 4.086 ± 0.473 l であった。この酸素需要量を体重 1 kg 当り 1 分間当りの値で表すと、S L で 142.9 ± 23.1 ml/kg \cdot min、G S L で 81.9 ± 12.9 ml/kg \cdot min となり、 $\dot{V}_{O_2 \max}$ の 2.8 倍および 1.6 倍に相当していた。

これに対して、20秒間の自転車エルゴメータ駆動では酸素需要量が 4.443 ± 0.834 l、50秒間で 5.848 ± 0.497 l であり、体重 1 kg 当り 1 分間当りの値で表すと S L で 184.7 ± 25.8 ml/kg \cdot min、G S L で 106.7 ± 12.1 ml/kg \cdot min となりそれぞれ $\dot{V}_{O_2 \max}$ の約 3.6 倍および約 2.1 倍に相当していた。

3) 各エネルギー発生機構の貢献度

酸素需要量を 100% として 3 つのエネルギー発生機構の貢献度を $\Delta V_{O_2 \dots}$ 、 $\Delta V_{O_2 \dots}$ および $\Delta V_{O_2 L_A}$ の相対的割合から求めると、S

L は有気系から 11.7%、非乳酸系から 69.8% および乳酸系から 18.5% であり、G S L はそれぞれ、32.1%、52.3% および 15.6% であった。また、20秒間の自転車エルゴメータ駆動時には、それぞれ 8.8%、55.7% および 35.5% であり、50秒間ではそれぞれ 29.4%、38.2% および 32.4% であった (図 3) 。

③

第五章 考察

高速で行われる競技中のエネルギー代謝を測定する際に問題となるのは、ダグラスバッグなどの測定装置により被験者の動きを妨げること、空気抵抗の増大に伴いパフォーマンスを低下させること、あるいは装置の操作の困難性に伴い測定の正確性に欠けることである。たとえば、青木ら²⁾(1974)は、100m 疾走中の酸素摂取量の測定時に本実験と同様にダグラスバッグ法を用いたが、疾走時間は平均で自己最高記録の約11%増であったことを報告している。本実験では、滑走中にダグラスバッグができるだけ空気抵抗を生じないようにひもで小さく固定するなどの工夫をした。その結果、装置を装着して滑走を行った方がタイムが速い例も多々見られ、装置装着によるタイムロスはほとんど無視できる程の小ささとなった。さらに、高速でゴールする競技においては、ゴール地点でのコックの切り換

えが測定の正確さという点から重要なポイントになるが、本実験では清水ら(1969)になら⁶⁹⁾って、コックの切り換え操作を無線で行いこの問題をクリアした。

SLに関して、グラススキー競技とアルペンスキー競技をエネルギー供給の相対的割合から検討してみると、有気系(グラススキー11.7%、アルペンスキー36%、 $p < 0.001$)および乳酸系(グラススキー18.5%、アルペンスキー40%、 $p < 0.001$)はアルペンスキー競技の方が大きく、非乳酸系(グラススキー69.8%、アルペンスキー24%、 $p < 0.001$)についてはグラススキー競技の方が大きかった(図4)。また、グラススキー競技とアルペンスキー競技とは競技時間が異なることから、各測定値を体重1kg当りのパワーで表して比較すると、相対値で比較した時と同じ傾向を示した(表4)。

有気系からのエネルギー供給がアルペンスキー競技の方が多くなる理由として、競技時

間による違いが考えられる。つまり、アルペンスキー競技は、約1分間で競技が行われるので有気的なエネルギー供給系も動員されているものと思われる。しかし、グラススキー競技は20秒間で競技が終了してしまうので、有気的供給系はほとんど動員されていないものと考えられ、さらに、この違いが体重1kg当りのパワーの値に換算しても影響するものと思われる。

乳酸系からのエネルギー供給がアルペンスキー競技の方が多くなる理由として、スキーの構造の違いによる滑走技術の相違が考えられる。すなわち、アルペンスキーが荷重および脚の筋力でスキー板をたわませ雪面との抵抗を高めてターンするのとは違って、グラススキーのターンはスキー板が元々たわんだ状態になっているので荷重と角付けを行うことによつてなされる⁷⁴⁾。

また、アルペンスキー競技ではスキーの板が横にズレることは減速の要因となるのでズ

レの少ないターン弧を描く滑りが要求されるが、グラススキーはキャタピラベルトという構造上、線上の角付けでターンをコントロールすることから、ズレ幅の少ないターンを容易に行うことができる。⁷⁴⁾しかし、アルペンスキーはスキーのたわみを加減してターン弧の大きさをコントロールすることができるのに対し、グラススキーはスキーのたわみを調節することができないのでアルペンスキーより操作性の面で劣っている。そこで、グラススキーのターンは前半にスキー板への加圧を行わないで上体の先行動作 (Anticipation) を用いてスキーの方向性を決定し、後半にスキー板に荷重しスキーをコントロールする方法をとっている。

すなわち、アルペンスキー競技はターンをコントロールするために雪面への働きかけが長くなること、および脚の筋に等尺性収縮が強いられ筋への血流不足が生じることから^{4), 16)}、乳酸産生が促進されることが示唆される。こ

れに対して、グラススキー競技はアルペンスキー競技滑走時に比べて地面への働きかけが短いので筋収縮の休止期に乳酸が緩衝されるか、もしくはは乳酸系機構が動員される負荷までに至らないことが推測される。

非乳酸系のエネルギー供給がグラススキー競技の方が多くなる理由としては競技時間が短く(20秒)、また、ターンをコントロールするため地面への働きかけが短いことから、実際に運動している時間は20秒よりもさらに短縮されるからではないかと考えられる。

GSLに関してはどちらとも $\dot{V}O_{2\max}$ の1.6倍であったことから、無気的エネルギー代謝の貢献度は両者とも同じであると言える。しかし、1秒当りのエネルギー供給量および相対的割合からその中身を見ても、グラススキー競技は非乳酸系に、また、アルペンスキー競技は乳酸系の供給に依存していることが分かる。この違いは、SLで述べたように滑走技術の違いによるものであると考えられる。

したがって、1秒当りのエネルギー供給量およびエネルギー代謝の相対的割合からグラススキー競技の生理学的特性を考えると、SLおよびGSLとも非乳酸系のエネルギー代謝に依存しているものと言える。

SL滑走と20秒間の自転車エルゴメータ全力駆動あるいはGSL滑走と50秒間の自転車エルゴメータ全力駆動とを比較すると、いずれの場合においても、非乳酸系(69.8%および55.7%, $P < 0.001$ 、52.3%および38.2%, $P < 0.01$)および乳酸系(18.5%および35.5%、15.6%および32.4%それぞれ $P < 0.001$)について有意な貢献度の違いを示した(図4参照)。

北川と加藤³⁴⁾(1979)は、アルペンスキーのオリンピック選手に圧力盤の装着されたスキー板を履かせて、7旗門がオープンテレグラムで設置されたコースを滑走した時のスキーを圧する力(足圧)の変化を観察し旗門通過時に谷スキーの内側に約0.3秒間の加圧が行われていたことを報告している。また、Suzuki

ら (1982) は被験者に 1 k p の負荷で全力自転車
 エルゴメータ駆動を行わせた時に、ペダルを
 回転させる際の主働筋である大腿直筋の表面
 筋電図を記録している。その結果から、ペダ
 ルを漕いだ時に大腿直筋が動員されるのは 1
 秒当り約 0.7 秒であることが観察できる。し
 たがって、同じ運動時間でもアルペンスキー
 滑走と運動形態の似たグラススキー滑走時の
 方が自転車エルゴメータ駆動時よりも筋の動
 員時間が短くなることが示唆される。また、
 自転車エルゴメータ全力駆動時 (負荷 5 k p)
 は大腿四頭筋がコンセントリックな収縮を行
 っているのに対して、グラススキー滑走中は
 大腿四頭筋が等尺性収縮を中心に行っている
 が、斜面の起伏に対応してエキセントリック
 な収縮も行われているものと考えられる。
 エキセントリックな筋収縮はコンセントリック
 なものよりもエネルギー消費量が少ないこ
 とが知られている³⁶⁾。したがって、これらの影
 響によってグラススキー滑走中の乳酸の増加

を抑制することが示唆される。

また、20秒および50秒間の自転車エルゴメータ全力駆動時の酸素需要量を100%とする
と、SLおよびGSL滑走時の酸素需要量は
その約80%および約70%に相当し、また、そ
れぞれ $\dot{V}O_{2max}$ の2.8倍および1.6倍に達して
いたことから、グラススキー競技は、超最大
運動ではあるものの、運動時間を考慮すると
それほど強度の高い運動ではないと言える。

グラススキー競技の大きな特徴の一つは、
競技時間のほぼ等しい他の競技と比べて血中
乳酸濃度が非常に低いということである(図
5)。Margariaら(1971)⁴⁷⁾は超最大運動時に血
中で観察される乳酸濃度の変化は時間の経過
に対して直線的に増加していくことを報告し
ている。そこで血中乳酸濃度の増加率を図4
のデータから求めてみると、グラススキーS
L競技は0.15およびグラススキーのGSL競
技は0.07 mmol/l·sとなり、200m走(0.63 mmol
/l·s)、50yd泳(0.67 mmol/l·s)、100yd泳(0

. 39 mmol / l · s) 、 およびスピードスケート 500 m (0.17 mmol / l · s) と 比 べ 増 加 率 は 小 さ い こ と が 分 か る 。

この原因の一つにエネルギーコストの違いが考えられる。Montpetitら (1983)⁵⁶⁾ は、泳速 1.2 m / s に お け る エ ネ ル ギ ー コ ス ト は、11.9 J / kg · m (0.57 ml O₂ / kg · m) で あ っ た こ と を 報 告 し て い る。50 yd お よ び 100 yd 泳 の エ ネ ル ギ ー コ ス ト は 泳 速 度 の 増 大 お よ び 乳 酸 産 生 を 伴 う 定 常 状 態 の 成 立 し な い 短 時 間 の 超 最 大 運 動 と い う 点 か ら さ ら に 増 加 す る と 思 わ れ る。また、青木ら (1974)²⁾ の 大 学 陸 上 短 距 離 選 手 の 200 m 走 の デ ー タ か ら、疾 走 時 の エ ネ ル ギ ー コ ス ト は 14.2 J / kg · m (0.71 ml O₂ / kg · m) と な る。し た が っ て、S L 競 技 の 3.2 J / kg · m (0.16 ml O₂ / kg · m) お よ び G S L 競 技 の 2.0 J / kg · m (0.10 ml O₂ / kg · m) と い う エ ネ ル ギ ー コ ス ト は、50 yd 泳 お よ び 200 m 走 の エ ネ ル ギ ー コ ス ト と 比 較 す る と か な り 低 い こ と に な る。こ れ は 水 泳 は 機 械 的 効 率 が 低 く、水 が エ ネ ル ギ ー を 吸 収 し や す い 粘 性 抵 抗

⁵⁴⁾
 であること、また、陸上競技の短距離走のスピードはピッチと高い相関関係があり、瞬時に多くのエネルギーを必要とするのに対して、スキー運動は位置エネルギーを運動エネルギーに変換することによって前進のためのエネルギーを得ている比率が大きいためであると言える。また、スピードスケートのエネルギーコストは $1.0 \text{ J/kg} \cdot \text{m}$ ($0.05 \text{ ml O}_2 / \text{kg} \cdot \text{m}$)⁶²⁾ と G S L 競技よりも低い、スピードスケートは等尺性収縮を強いる滑走姿勢が乳酸の産生を促進することから乳酸の増加率が高くなるものと思われ⁵⁾る。

滑走記録と各測定値との相関を調べてみると、S L および G S L 競技のいずれについても有意な相関が認められなかった。これは、競技時間が短く、100 m 走などとは違って滑走することにより費やすエネルギーは、力学的エネルギーを用いる比率が大きいためではないかと考えられる。その証拠として、グラススキーのエネルギーコストは他競技と比較する

と極端に小さい。したがって、グラススキー競技のパフォーマンスをエネルギー代謝の面だけから評価することは困難であり、グラススキー競技は滑走技術や意欲が特に大きく影響する種目であると言えよう。

第六章 要約

- 1 . 本研究の目的は、グラススキーの生理学的特性を有気的および無気的エネルギー代謝から明らかにすることであった。
- 2 . わが国の1990年度のグラススキーナショナルチームに所属する男子選手10名を対象にグラススキー（SLおよびGSL）滑走前、滑走中および滑走後に採気を行い酸素摂取量を測定した。また、ゴール通過後3分（SL）および5分（GSL）に指尖より血中乳酸濃度を分析するための採血を行った。
- 3 . 運動中の酸素摂取量（ $\Delta V O_{2, x}$ ）、回復期2分までの酸素摂取量（ $\Delta V O_{2, r. e.}$ ）および血中乳酸濃度（血中乳酸濃度が血中1ℓ当り1mmol増加した時の乳酸の酸素当量を3.15ml/kgとして換算する； $\Delta V O_{2, l. a.}$ ）から運動時の酸素需要量（ $\Delta V O_{2, l. o.}$ ）および各エネルギー供給系の貢献度を求めた。
- 4 . SL滑走中（21.18sec）の酸素需要量は

3.488 l ($\Delta V_{O_2_{ex}}$; 403 ml, $\Delta V_{O_2_{rec}}$; 2437 ml, $\Delta V_{O_2_{LA}}$; 648 ml) で、各エネルギー供給系の貢献度は有気系 11.7%、非乳酸系 69.8% および乳酸性系 18.5% であった。一方、GSL (46.91 sec) については酸素需要量が 4.086 l ($\Delta V_{O_2_{ex}}$; 1316 ml, $\Delta V_{O_2_{rec}}$; 2137 ml, $\Delta V_{O_2_{LA}}$; 633 ml) で、それぞれ 31.7%、52.8% および 15.5% であった。

5. 20秒間の自転車エルゴメータ全力駆動時の酸素需要量は 4.443 l ($\Delta V_{O_2_{ex}}$; 377 ml, $\Delta V_{O_2_{rec}}$; 2475 ml, $\Delta V_{O_2_{LA}}$; 1590 ml) で、各エネルギー供給系の貢献度は有気系 8.8%、非乳酸系 55.7% および乳酸系 35.5% であった。一方、50秒間では酸素需要量は 5.848 l ($\Delta V_{O_2_{ex}}$; 1698 ml, $\Delta V_{O_2_{rec}}$; 2219 ml, $\Delta V_{O_2_{LA}}$; 1932 ml) で、それぞれ 29.4%、38.2% および 32.4% であった。

6. SL および GSL 滑走時の酸素需要量は、同時間自転車エルゴメータを全力駆動した時のその約 70% および約 80% に相当し、それは低い血中乳酸濃度 (SL 3.0 および 20秒間自転車エルゴメータ全力駆動 7.0 mmol/l、

G S L 3.1 および 50 秒間自転車エルゴメータ
全力駆動 (9.3 mmol/l) によって示されている。

7. 以上の結果から、グラススキー競技滑
走中には乳酸系からのエネルギー供給が少な
く、非乳酸系の相対的貢献度が高くなる特徴
を持つことが明らかとなった。

References

1. 青木純一郎, 形本静夫: 100m走における疾走時間と非乳酸性および乳酸性負債について. 昭和47年度日本体育協会スポーツ科学研究報告No. II
ハイスピード持続能力の解明-第2次研究報告-: 3-11(1972)
2. 青木純一郎, 清水達雄, 形本静夫: 短距離走と酸素負債. 順天堂大学保健体育紀要 第17号, 1-12(1974)
3. Andersen, K. L.: Energy cost of swimming. *Acta Chirurgica Scand.* 253:169-174 (1960)
4. Anderson, R. E., and D. L. Montgomery: Physiology of alpine skiing. *Sports Med.* 6:210-221(1988)
5. 浅野勝己: スケートの科学. 現代体育・スポーツ体系, 第16巻. スキー・スケート・そり競技, 浅見俊雄, 宮下充正, 渡辺 融編 pp. 187-207, 講談社: 東京(1984)
6. Åstrand, P. -O., L. Engström, B. O. Eriksson, P. Karlberg, I. Nylander, B. Saltin, and C. Thorén: Girl swimmers. — with special reference to respiratory and circulatory adaptation and gynaecological and psychiatric aspects. *Acta paed. (suppl. 147)*:5-75(1963)
7. Åstrand, P. -O. and K. Rodahl.: Textbook of work physiology. pp. 646-682, McGraw-Hill: Singapore(1988)
8. Ayalon, A., O. Inbar, and O. Bar-Or: Relationships among measurements of explosive strength and anaerobic power. In Nelson, R. C. and C. A. Morehouse(eds) *Biomechanics IV*. pp. 143-151, University Park Press: Baltimore(1974)
9. Cavagna, G. A., F. P. Saibene, and R. Margaria: Mechanical work in running. *J. Appl. Physiol.* 19:249-256(1964)
10. Cavagna, G. A., and G. Citterio: Effect of stretching on the elastic characteristics and contractile component of the frog striated muscle. *J. Physiol.* 239:1-14(1974)
11. Cavagna, G. A., and M. Kaneko: Mechanical work and efficiency in level working and running. *J. Physiol.* 268:467-481(1977)
12. Cerretelli, P., U. Bordoni, R. Debiadjji, and F. Saracino: Respiratory and circulatory factors affecting the maximal aerobic power in hypoxia. *Arch Fisiol.* 65:344-357(1967)
13. Chatard, J. C., B. Bourgoin, and J. R. Lacour: Passive drag is still a good evaluator of swimming aptitude. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59:399-404(1990) (1963)
14. 知久源次郎, 佐々木進, 松山龍一: 本邦一流短中距離runnerノ極大酸素負債量ニ就テ. *日本生理誌* 1:211-218(1936)
15. Ekblom, B., L. Hermansen, and B. Saltin: Hastighetsåkning påskridsko. *Idrottsfysiolog. Rappt.* 5:3-46(1967)—Åstrand, P. -O. and K. Rodahl.: Textbook of work physiology. pp. 646-682, McGraw-Hill: Singapore(1988)より引用
16. Eriksson, A., A. Forsberg, J. Nilsson, and J. Karlsson: Muscle strength, EMG activity, and oxygen uptake during downhill skiing. In Asmussen, E., K. Jørgensen (eds) *Biomechanics IV/V*. pp. 54-61 University Park Press: Baltimore(1978)
17. Faulkner, J. A.: Physiology of swimming and diving. In *Exercise physiology*.

- H. Falls. (ed) pp.415-416 Academic:New York(1968)
18. FIS:Be international ski competition rules.Geiger A. G. :Berne(1988)
 19. Fox, E. L. :Sports physiology. pp.1-8, Saunders College Publishing:Philadelphia (1979)
 20. 藤瀬武彦, 玉木哲朗, 寺尾 保, 中野昭一:血中乳酸値および酸素負債量による無酸素的運動能力評価法の検討. 体力科学38:85-94(1989)
 21. Fujitsuka, N., T. Yamamoto, T. Ohkuwa, M. Saito, and M. Miyamura:Peak blood lactate after short periods of maximal treadmill running. Eur. J. Appl. Physiol. 48:289-296(1982)
 22. Gladden, L. B., and H. G. Welch:Efficiency of anaerobic work. J. Appl. Physiol. 44:564-570(1978)
 23. Henry, F. M., and J. DeMoor:Metabolic efficiency of exercise in relation to work load at constant speed. J. Appl. Physiol. 2:481-487(1950)
 24. Hill, A. V., C. N. H. Long, and H. Lupton:Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. Parts W-W. Proc. Roy. Soc. B. 97:84-138(1924)
 25. Hill, A. V., and H. Lupton:Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. Quart. J. Med. 16:135-171(1923)
 26. Hirvonen, J., S. Rehunen, H. Rusko, and M. Härkönen:Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. Eur. J. Appl. Physiol. 56:253-259(1987)
 27. Hultman, E., J. Bergström, and N. M. Andersen:Break-down and resynthesis of phosphorylcreatine and adenosinetriphosphate in connection with muscular work in man. Scand. J. Lab. Invest. 19:56-66(1967)
 28. 生田香明, 猪飼道夫:Mechanical power, 血中乳酸量, 酸素負債によるAnaerobic workの研究. 体力科学22:1-8(1973)
 29. 石河利寛, 杉浦正輝編:運動生理学. p. 129 建帛社:東京(1989)
 30. 形本静夫:非乳酸性負債と乳酸性負債. 体育の科学25:742-747(1975)
 31. 金子公宥:パワーアップの科学. pp. 90-174 朝倉書店:東京(1988)
 32. Karpovich, P. V. and N. Millman:Energy expenditure in swimming. American J. Physiol. 142:140-144(1944)
 33. 木下是雄:スキーの力学. 日本のスキー科学. スキー科学研究会編 pp. 45-56 日立製作所:東京(1971)
 34. 北川 薫, 加藤好信:足元から見たアルペン選手の滑りの相違. 昭和54年度日本体育協会スポーツ医・科学調査研究事業報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研究-第3報-:149-156(1979)
 35. Knuttgen, H. G. and B. Saltin:Muscle metabolites and oxygen uptake in short-term submaximal exercise in man. J. Appl. Physiol. 32:690-694(1972)
 36. Knuttgen, H. G., F. B. Petersen, and K. Klausen:Oxygen uptake and heart rate responses to exercise performed with concentric and eccentric muscle contraction. Med. Sci. Sports 3:1-5(1971)
 37. 栗山節郎, 山田 保:血中乳酸値からみたアルペンスキーの運動強度. 昭和60年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告. No. II 競技種目別競技力向上に関する研究-第9報-:279-281(1986)
 38. 熊谷秋三:血中乳酸とパフォーマンス. 体育の科学38:687-696(1988)
 39. Lavoie, J. -M. and R. R. Montpetit:Applied physiology of swimming. Sports Med. 3:

165-189(1986)

40. van Manen, J. D. and H. Rijken: Dynamic measurement techniques on swimming body at the Netherlands Ship Model Basin. In Lewillie, L. and JP Clarys (eds) *Swimming I*. pp. 70-79 University Park Press: Baltimore (1975)
41. Margaria, R., H. T. Edwards, and D. B. Dill: The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am. J. Physiol.* 106: 689-714 (1933)
42. Margaria, R. and H. T. Edwards: The sources of energy in muscular work performed in anaerobic conditions. *Am. J. Physiol.* 108: 341-348 (1934)
43. Margaria, R., P. Cerretelli, P. Aghemo, and G. Sassi: Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.* 18: 367-370 (1963)
44. Margaria, R., P. Cerretelli, P. E. Di Prampero, C. Massari, and G. Torrelli: Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. *J. Appl. Physiol.* 18: 371-377 (1963)
45. Margaria, R., P. Cerretelli, and F. Mangili: Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 19: 623-628 (1964)
46. Margaria, R.: Capacity and power of energy processes in muscle activity: Their practical relevance in athletics. *Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol.* 25: 352-360 (1968)
47. Margaria, R., P. Aghemo, and G. Sassi: Lactic acid production in supramaximal exercise. *Pflügers Arch.* 326: 152-161 (1971)
48. Margaria, R.: *Biomechanics and energetics of muscular exercise*. Oxford Univ. Press: Oxford (1976) ——金子公育訳: 身体運動のエネルギー. pp. 90-129 ベースボールマガジン社: 東京 (1978)
49. 真島英信: スピードスケート札幌オリンピックスポーツ科学研究報告. pp. 190-200 日本体育協会: 東京 (1972)
50. 増山元三郎: 実験計画法 岩波書店: 東京 (1957) ——松浦義行: 体育・スポーツ科学のための統計学. p. 158, 朝倉書店: 東京 (1985) より引用
51. McArdle, W. D., R. M. Glaser, and J. R. Magel: Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. *J. Appl. Physiol.* 30: 733-738 (1971)
52. McArdle, W. D., F. I. Katch, and G. S. Pechar: Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle tests for max $\dot{V}O_2$. *Med. Sci. Sports* 5: 156-160 (1973)
53. Mero, A., P. Luftanen, J. T. Viitasalo, and P. V. Komi: Relationship between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sports Sci.* 3: 16-22 (1981)
54. 宮下充正: 水泳の科学。-キネシオロジーと指導への応用- 体育の科学社: 東京 (1970)
55. 文部省体育局編: 平成元年度 体育・運動能力調査報告書. p. 55 (1990)
56. Montpetit, R. R., J. -M. Lavoie, and G. A. Cazorla.: Aerobic energy cost of swimming the front crawl at high velocity in international class and adolescent swimmers. In Hollander, Huijing, de Groot (eds) *Biomechanics and medicine in*

- swimming. International series on sports science, Vol. 14, pp. 228-234(1983)
57. 根本 勇:スピードスケート選手のトレーニング. 日本スケート連盟会報『Skating』17号:26-35, 18号:39-45(1982)
——浅野勝己:スケートの科学. 現代体育・スポーツ体系, 第16巻. スキー・スケート・そり競技, 浅見俊雄、宮下充正、渡辺 融編 pp. 187-207,
講談社 : 東京(1984)より引用
 58. 沼尻幸吉:活動のエネルギー代謝. p. 47 労働科学研究所:東京(1979)
 59. 奥田英二:スキー上達の科学. pp. 20-127 集英社:東京(1986)
 60. DI Prampero, P. E., L. Peeters, and R. Margaria: Alactic O₂ debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. J. Appl. Physiol. 34:628-632 (1973)
 61. DI Prampero, P. E., D. R. Pendergast, D. W. Wilson, and D. W. Rennie: Energetics of swimming in man. J. Appl. Physiol. 37:1-5(1974)
 62. DI Prampero, P. E., G. Cortili, P. Mognoni, and F. Saibene.: Energy cost of speed skating and efficiency of work against air resistance. J. Appl. Physiol. 40:584-591(1976)
 63. DI Prampero, P. E., D. R. Pendergast, D. W. Wilson, and D. W. Rennie: Blood lactic acid concentrations in high velocity swimming. In Eriksson, Furberg(eds) Swimming medicine IV. pp. 249-261, University Park Press: Baltimore(1978)
 64. DI Prampero, P. E.: Energetics of muscular exercise. Rev. Biochem. Pharmacol. 89:144-222(1981)
 65. Pugh, L. G. C. E., O. G. Edholm, R. H. Fox, H. S. Wolf, G. R. Hervey, W. H. Hammond, J. M. Tanner, and R. H. Whitehorse: A physiological study of channel swimming. J. Clin. Invest. 37:538-547(1960)
 66. Pugh, L. G. C. E.: The influence of wind resistance in running and walking and the mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces. J. Appl. Physiol. 213:255-276(1971)
 67. Pugh, L. G. C. E.: The relation of oxygen intake and speed in competition cycling and comparative observations on the bicycle ergometer. J. Physiol. 241:795-808(1974)
 68. Saibene, F., G. Cortili, P. Gavazzi, and P. Magistri.: Energy sources in alpine skiing(giant slalom). Eur. J. Appl. Physiol. 53:312-316(1985)
 69. 清水達雄, 帖佐寛章, 栗本関夫, 青木純一郎, 前嶋孝, 吉儀宏, 沢木啓祐 : ダグラスバッグ法における呼気採集のための三方コック操作の無線化。
順天堂大学保健体育紀要 第12号, 79-81(1969)
 70. Suzuki, S., S. Watanabe, and S. Homma.: EMG activity and kinematics of human cycling movements at different constant velocities. Brain Research 240:245-258(1982)
 71. 田村俊世: 無拘束酸素摂取量連続計測. 日本ME学会雑誌 4(8):46-51(1990)
 72. Tesch, P., L. Larsson, A. Eriksson, and J. Karlsson.: Muscle glycogen depletion and lactate concentration during downhill skiing. Med. Sci. Sports 10:85-90 (1978)
 73. 東京都立大学身体適性学研究室編 : 日本人の体力標準値第四版. pp. 18-276, 不昧堂出版:東京(1989)

74. 浦佐スキースクール編: Grass ski training. スキーグラフィック10(12):127-136(1988)
75. Veicsteinas, A., G. Ferretti, V. Margonato, G. Rosa, and D. Tagliabue. :Energy cost of and energy sources for alpine skiing in top athletes. J. Appl. Physiol. 56: 1187-1190(1984)
76. 渡辺俊男, 只木英子, 渡辺政子, 石河利寛, 松井秀治, 広田公一, 宮沢 健: スキーのエネルギー代謝に関する研究(3) スキー回転競技(スラローム)のエネルギー代謝. 体育学研究 2: 141-144(1956)
77. 渡部和彦, 大築立志: 滑走姿勢と空気抵抗(Ⅱ) ~ 風洞実験による測定 ~ 体育の科学 22: 270-276(1972)
78. 渡部和彦, 磨井祥夫, 渡部 勲, 萩野 毅: トリップワイヤーが空気抵抗に及ぼす影響: アルペンスキーマネキンを用いた風洞実験. 昭和63年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告. No. Ⅱ 競技種目別競技力向上に関する研究-第12報-: 183-185(1989)
79. 山田 保, 安部 孝: アルペンスキー選手の年間トレーニング計画と体力目標値. 昭和59年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告. No. Ⅱ 競技種目別競技力向上に関する研究-第8報-: 284-289(1985)
80. 山本正嘉: 全力パダリング持続時の発揮パワー特性による非乳酸性、乳酸性、および有酸素性能力の同時評価テストの ——テストの妥当性についての検討—— 国際武道大学紀要 第1号, 87-96(1985)
81. 全日本スキー連盟編: スキーの運動と力. 日本スキー指導教本. pp. 49-52, スキージャーナル: 東京(1987)

Aerobic and anaerobic metabolism in grass skiing

Naoki NAKAGAWA

Summary

- 1 The purpose of present study was to clarify the physiological characteristics of grass skiing from the viewpoint of aerobic and anaerobic metabolism.
- 2 O_2 uptake during pre-exercise, exercise and the first 2min of recovery and blood lactate concentration 3min or 5min after exercise were measured in slalom (n=8) and giant slalom (n=7) performed by subjects who were members of Japanese national team.
- 3 The aerobic, alactic and lactic fractions of total energy demands of both slalom and giant slalom in grass skiing were calculated from VO_2 during exercise (ΔVO_{2ex}) and the first 2min of recovery (ΔVO_{2rec}), and O_2 equivalent of 3.15 ml O_2 /kg body weight for 1mmol/l lactate accumulation (ΔVO_{2LA}).
- 4 In slalom (21.18sec), O_2 requirement was 3.488l (ΔVO_{2ex} ; 403ml, ΔVO_{2rec} ; 2437ml, ΔVO_{2LA} ; 648ml) and the energy sources were derived from 11.7% aerobic, 69.8% alactic and 18.5% lactic metabolism. On the other hand, in giant slalom (46.91sec) O_2 requirement was 4.086l (ΔVO_{2ex} ; 1316ml, ΔVO_{2rec} ; 2137ml, ΔVO_{2LA} ; 633ml) and the energy sources were derived from 31.7% aerobic, 52.8% alactic and 15.5% lactic metabolism.
- 5 In 20sec bicycle ergometer pedalling, O_2 requirement was 4.443l (ΔVO_{2ex} ; 377ml, ΔVO_{2rec} ; 2475ml, ΔVO_{2LA} ; 1590ml) and the energy sources were derived from 8.8% aerobic, 55.7% alactic and 35.5% lactic metabolism. On the other hand, in 50sec pedalling O_2 requirement was 5.848l (ΔVO_{2ex} ; 1698ml, ΔVO_{2rec} ; 2219ml, ΔVO_{2LA} ; 1932ml) and the energy were derived from 29.4% aerobic, 38.2% alactic and 32.4% lactic metabolism.
- 6 O_2 requirement in slalom and giant slalom correspond to about 70% and 80% of it in each bicycle ergometer pedalling. And they were represented by low blood lactate concentration (SL; 3.0mmol/l, 20sec bicycle ergometer pedalling; 7.0mmol/l and GSL; 3.1mmol/l, 50sec bicycle ergometer pedalling; 9.3 mmol/l, $p < 0.001$ respectively).
- 7 From these results it was concluded that in grass skiing the energy supply derived from lactic metabolism would be little and contribution rate of alactic metabolism would be high.

Table 1. Physical characteristics and maximal aerobic power of the subjects.

Sub	Age (yr)	Stature (cm)	Weight (kg)	%Fat (%)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg·min)
KN	22	170	67.6	14.1	49.9
HS	20	171	87.0	18.2	45.7
MF	17	162	69.0	17.9	48.8
SY	18	165	68.0	13.5	53.3
YI	21	170	59.5	10.6	50.4
TN	19	174	71.0	11.8	47.7
HH	20	164	69.0	15.3	51.5
TM	16	170	64.0	15.0	53.1
TI	19	158	67.5	19.7	40.6
YN	16	160	55.5	10.3	67.7
\bar{X}	19	167	67.8	14.6	50.9
SD	2	5	7.9	3.1	6.7

Table 2. Performance time of grass skiing with and without experimental devices.

Sub	Performance time of S L (sec)		Performance time of G S L (sec)	
	without device	with device	without device	with device
SY	19.79	20.89	44.67	45.33
YN	-	-	47.49	46.27
TI	-	-	46.58	47.98
YI	19.95	20.92	46.99	47.16
KN	19.63	20.39	48.48	44.30
TM	21.14	22.82	51.22	50.19
HH	20.22	21.86	48.22	47.15
MF	20.42	20.80	-	-
TN	20.65	21.27	-	-
HS	20.60	20.50	-	-
\bar{X}	20.30	21.18	47.31	46.91
SD	0.47	0.75	1.89	1.76

Table 3. Mean $\Delta V_{O_{2ex}}$, $\Delta V_{O_{2rec}}$, $\Delta L A$, $\Delta V_{O_{2LA}}$, $\Delta V_{O_{2tot}}$ and energy expenditure in grass skiing and bicycle ergometer pedalling. (Mean \pm SD)

Exercises	$\Delta V_{O_{2ex}}$ (ml)	$\Delta V_{O_{2rec}}$ (ml)	$\Delta L A$ (mmol/l)	$\Delta V_{O_{2LA}}$ (ml)	$\Delta V_{O_{2tot}}$ (ml)	Oxygen expenditure (ml/min)	Oxygen expenditure (ml/kg·min)
S L (21.18sec)	403 \pm 105	2437 \pm 462	3.0 \pm 0.6	648 \pm 164	3488 \pm 621	9929 \pm 1976	142.9 \pm 23.1
G S L (46.91sec)	1316 \pm 232	2137 \pm 289	3.1 \pm 0.4	633 \pm 78	4086 \pm 473	5244 \pm 710	81.9 \pm 12.9
Pedalling(20sec)	377 \pm 126	2475 \pm 488	7.0 \pm 1.6	1590 \pm 430	4442 \pm 834	13328 \pm 2516	184.7 \pm 25.8
Pedalling(50sec)	1698 \pm 254	2219 \pm 441	9.3 \pm 0.7	1932 \pm 151	5849 \pm 497	7018 \pm 596	106.7 \pm 12.1

Table 4. Comparison with the values per unit of body weight per second in grass and alpine skiing.

Variables	Events	(Mean±SD)	
		slalom	giant slalom
$\Delta V O_{2tot}/kg \cdot s$ (ml/kg · s)	Grass	2.43±0.39**	1.28±0.15
	* Alpine	1.69±0.34	1.36±0.29
$\Delta V O_{2ex}/kg \cdot s$ (ml/kg · s)	Grass	0.28±0.07***	0.41±0.07
	Alpine	0.61±0.12	0.41±0.11
$\Delta V O_{2rec}/kg \cdot s$ (ml/kg · s)	Grass	1.70±0.32***	0.67±0.09***
	Alpine	0.40±0.07	0.40±0.07
$\Delta V O_{2LA}/kg \cdot s$ (ml/kg · s)	Grass	0.45±0.11**	0.20±0.02***
	Alpine	0.68±0.15	0.55±0.11

*Veicsteinas et al. (1984)

;p<0.01 and *;p<0.001

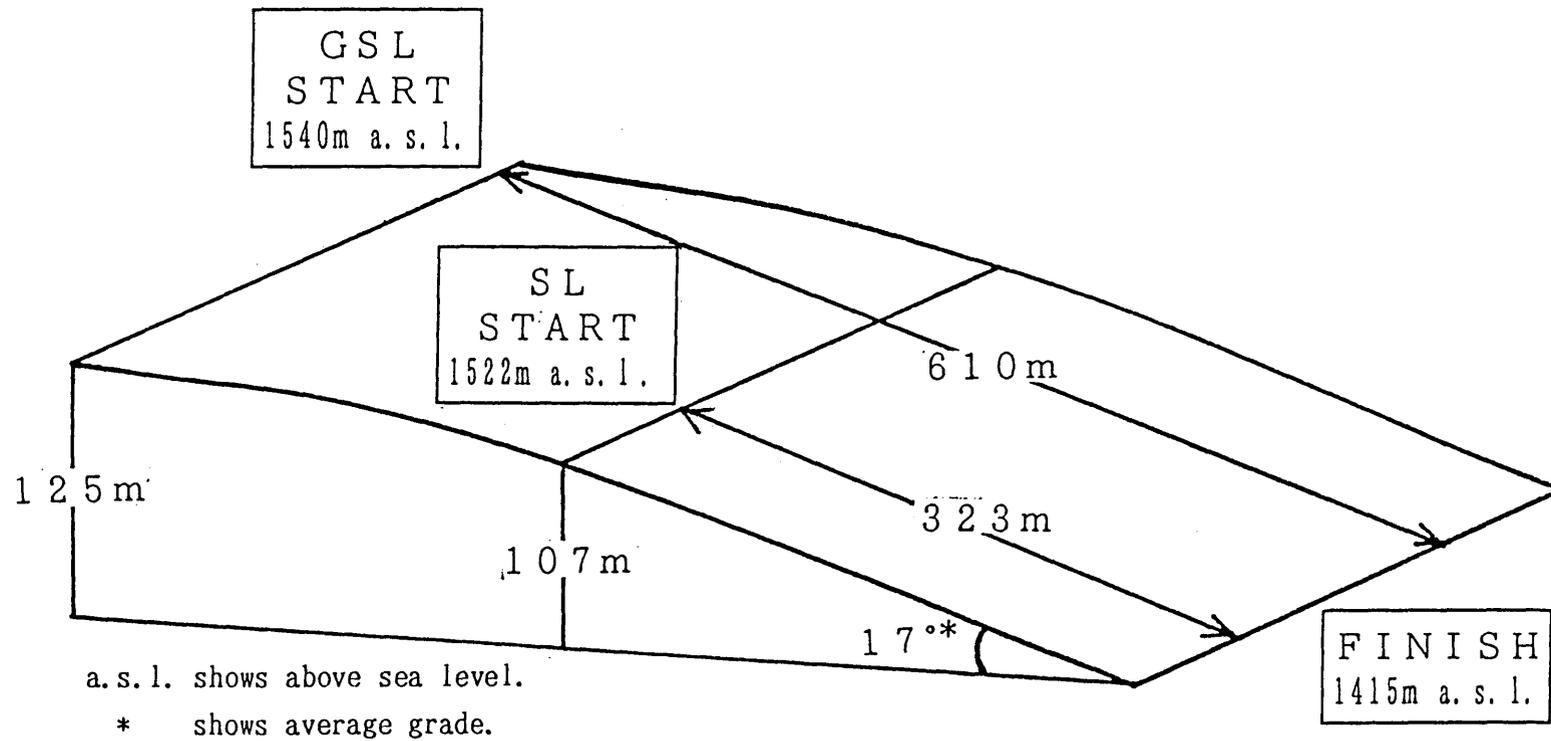


Fig. 1. The outline of the courses for giant slalom(GSL) and slalom(SL) at Nobeyama.

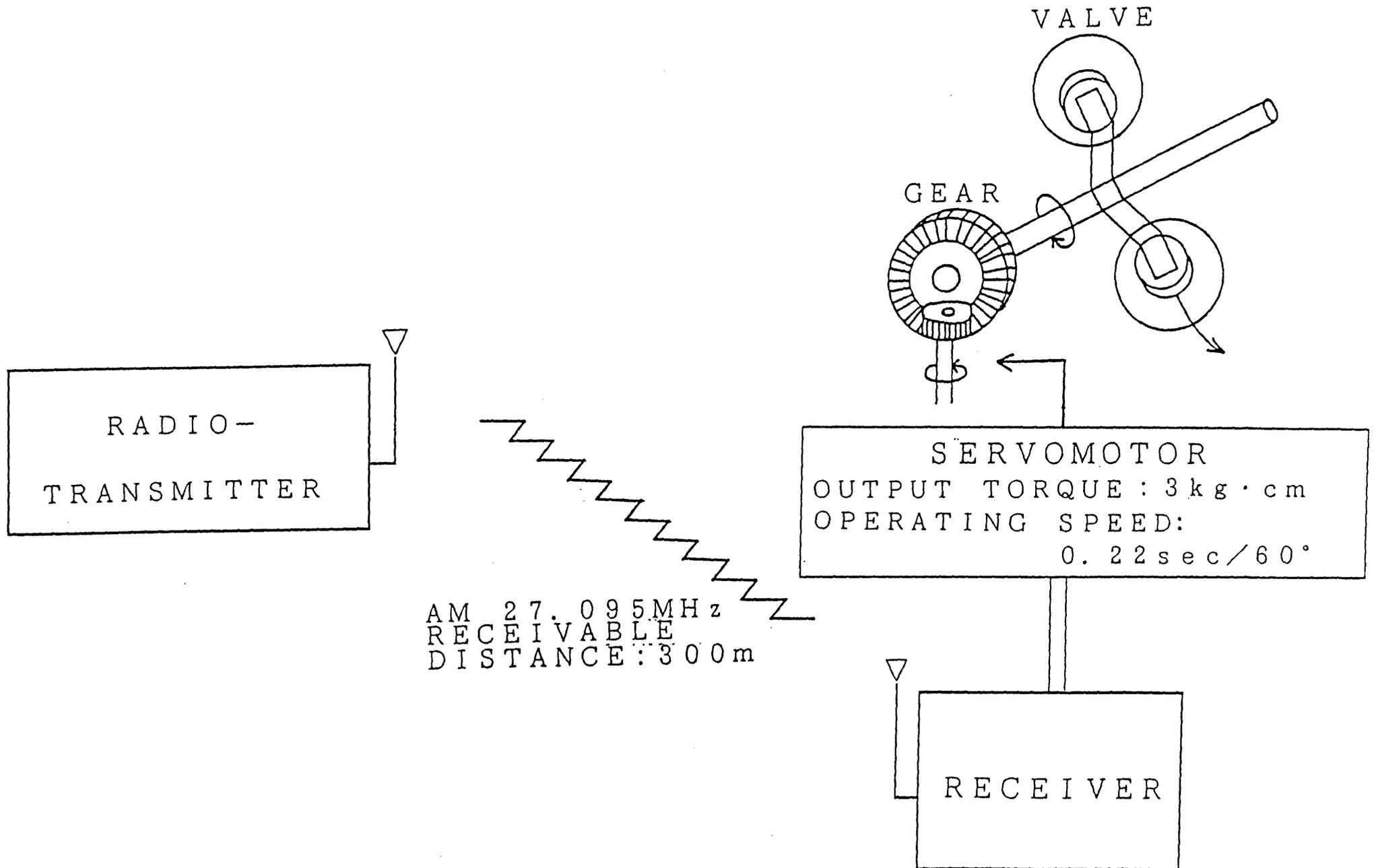
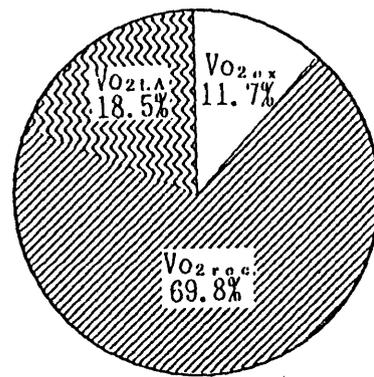
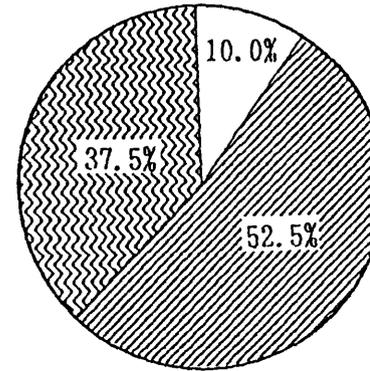


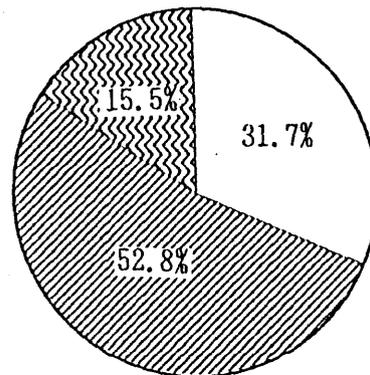
Fig. 2. The principle of a radio telemetering device for manipulating of three-way valves.



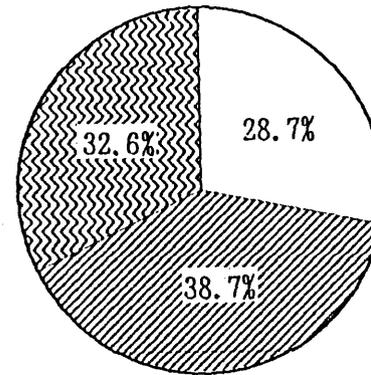
grass skiing
(SL)



ergometer pedalling
(20sec)



grass skiing
(GSL)



ergometer pedalling
(50sec)

Fig. 3. Contribution of aerobic ($\Delta V_{O_{2ox}}$), alactic ($\Delta V_{O_{2rec}}$) and lactic ($\Delta V_{O_{2LA}}$) energy sources to grass skiing and bicycle ergometer pedalling.

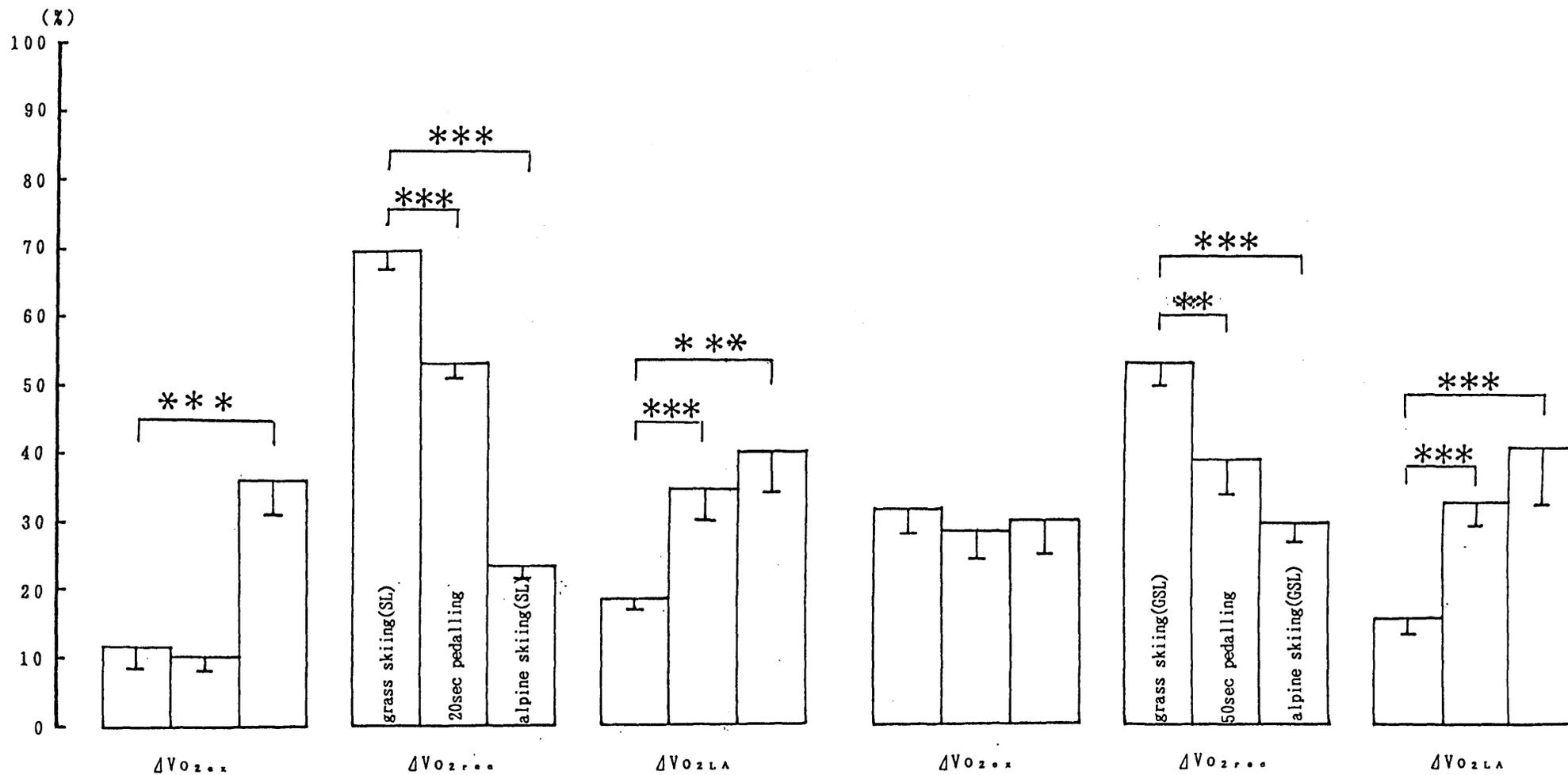


Fig. 4. Contribution rates of aerobic and anaerobic energy metabolism in grass skiing, alpine skiing and bicycle ergometer pedalling.

; p < 0.01 *; p < 0.001

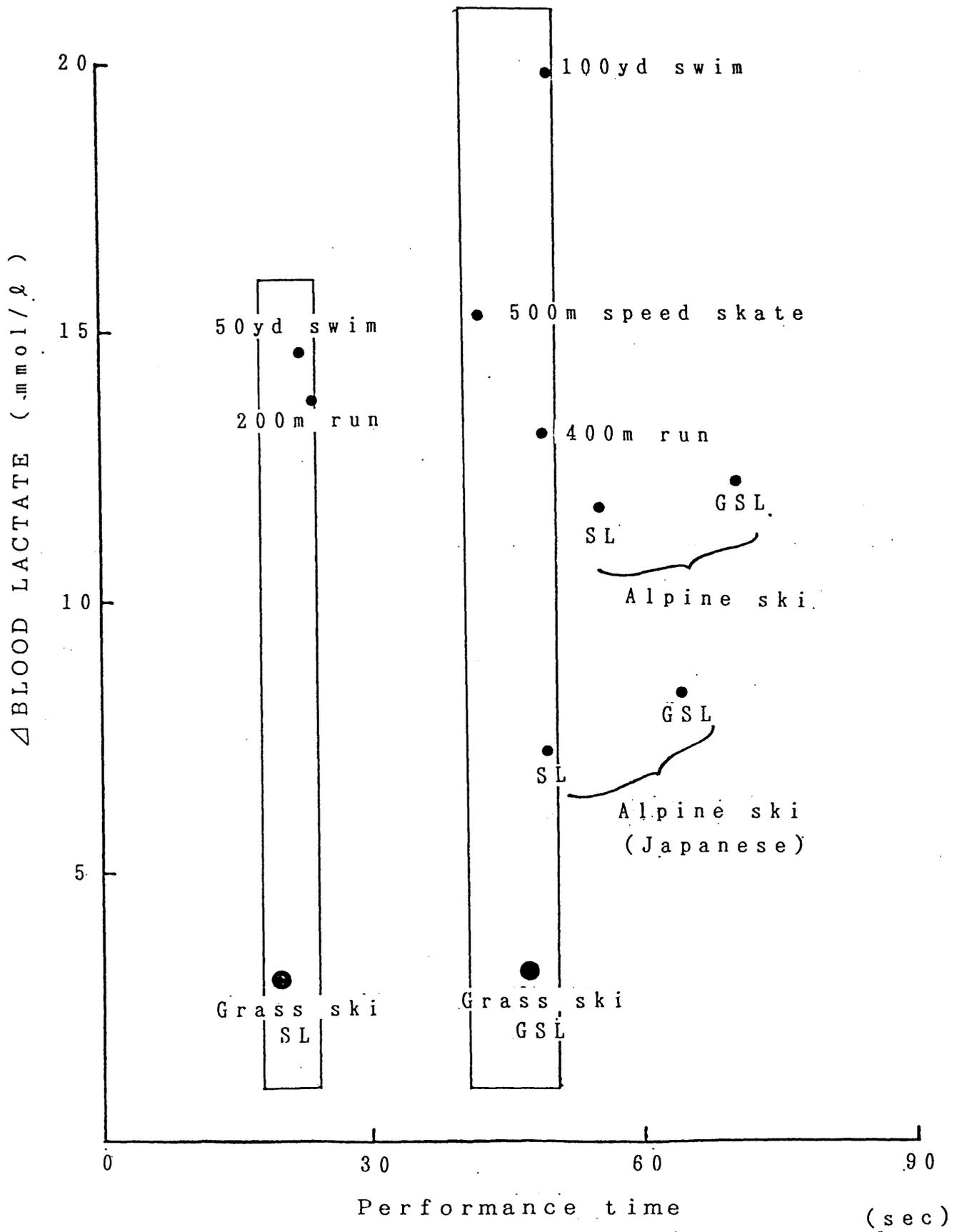


Fig. 5. Blood lactate concentration for the same performance time as grass skiing.

付表 1. 被験者への実験内容の説明および承諾書の書式

被験者のお願い

大学院 2 年 中川 直樹
指導教員 青木 純一郎

私は、修士論文作成のために次のように実験を計画しています。つきましては被験者としてあなたに御協力して頂きたくお願い申し上げます。実験の内容は以下の通りです。質問等がありましたら御遠慮なく申し出て下さい。内容を十分に理解された上で、実験に御協力頂ける場合、承諾書に御署名下さい。

1. 実験目的

グラススキー競技の有氣的及び無氣的エネルギー代謝の割合を明らかにする。

2. 実験手順

- (1) 身長・体重・皮下脂肪厚（肩甲骨下部及び上腕背部）・最大酸素摂量（自転車エルゴメータを用いた漸増負荷運動テスト：回転数60rpmで2分毎に0.5kpずつ増加させていき漕げなくなるまで行う）を測定する。
なお、安静時に指尖より50 μ l採血する。
- (2) グラススキー滑走時（回転及び大回転競技）には、安静時と同様（安静時は座位にて3分間採気する）にマスクを装着して、ダグラスバッグに呼気を採集する。
- (3) 滑走終了後、座位にて2分間、呼気を採集する。また、3、5及び7分後に安静時と同様な方法で採血を行う。

3. 実験に伴う問題点

マスクを装着すると視野が狭くなり、若干滑走しにくくなることがあります。

4. 実験結果から得られる利点

グラススキー競技の有氣的及び無氣的エネルギー代謝の割合を明らかにすることで、今後トレーニング・プログラムを作成するときの重要な手掛りとなります。

承 諾 書

1990年 月 日

中川直樹殿

私は、貴兄の実験の内容を理解し、被験者として参加することに同意します。

署名 _____