リージュ・ボブスレー選手の G 耐性と体力に関する研究

高 野 敏 雄*

STUDIES ON THE HUMAN TOLERANCE TO CENTRIFUGAL ACCELERATORY FORCE AND PHYSICAL FITNESS IN LUGE AND BOBSLEIGH PLAYERS

TOSHIO TAKANO

Luge and bobsleigh game, which are stirring but dangerous winter sports, have had only a short history in Japan and little study have been done on them from the viewpoints of sports medicine and physical fitness. It is very important and urgent for safety to elucidate the physiological effects of centrifugal acceleration upon the game players, which may be generated when the sleigh descend with high speed along a steeply curved ice course. Upon this, human G tolerance and physical fitness were tested and discussed in total of 48 Japanese subjects, including 4 females, who are candidates for the Olympic team of luge and bobsleigh game. Main results are as follows.

1. Grayout threshold (+Gz tolerance) was determined in each subjects using human centrifuge apparatus. Averaged tolerance limits were $+5.67 \pm 0.56$ Gz and $+5.80 \pm 0.43$ Gz in luge and bobsleigh players, respectively. All subjects showed appropriate physiological responses in blood pressure and heart rate during exposure to G.

2. The results of anthropometric measurements and physical fitness test were thought to be reasonable as the value for trained athletes.

3. About 30% of subjects showed a decreased or mistaken stick performance when Coriolis stimulation were given to them in mild centrifugal G field.

4. It is thought for maintaining safety in the games that all the players should have appropriate G tolerance and physiological responses to G load and should be trained to prevent them from causing spatial disorientation by Coriolis stimulation during the game. For this, it is recommended that they should be given G load test with absolutely safety maneuver by human centrifuge.

(J. Physical Fitness Japan 1971, 20 : 101~117)

I ま え が き

リージュおよびボブスレーは、わが国では歴史の浅い冬期競技であるが、1972年札幌で冬期オリンピックが開催されるようになったのを機に、わが国でも専用のコース施設が完成し、日本人選手もかなり多数これらの競技に参加することになっている。また最近大学等においてもこれらの競技が注目されるようになり、将来競技者人口がかなり増加することが予想される。

リージュはスチールのエッジをつけ、ハンド

ルもブレーキもない木ぞりで、全長 1,000m~1,500m、標高差 100m~130m、平均斜度 9~11%、10数ヶ所のカーブを有する氷の走路を平均時速 80km 以上で滑降するレースで、競技種目は男女それぞれ 1人乗りおよび 2人乗りの 4種目がある。ボブスレーは舵と制動機をとりつけた鋼鉄製のそりによる滑降レースで、競技は男子 2人乗りと 4人乗りの 2種目がある。走路は全長 1500~1700m、標高差約 130m、平均斜度約 8%、高さ 2~10m の外壁を設けた氷の斜面で、10数ヶ所のカーブがあり、滑降速度は時速 100km を超える。

* 札幌医科大学公衆衛生学教室 Department of Public Health, Sapporo Medical College (Director : Prof. Akira OKADA)

いづれも豪快な競技ではあるが、それと同時に非常な危険をとまなう。とくに急カーブを高速で滑降する際に発生する遠心力のために、平衡感覚や血液循環動態に異常を生じ、これが為に操作を誤ってコースの外壁に激突し、重大な傷害をひきおこした例が少なくない。健全な冬期スポーツとして両競技を育成するためには、スポーツ医学に立脚した科学的な検討と指導が必要であると思われる。歴史と経験の浅いわが国では、とくにこのことを痛感する。著者は、上記の諸点に着目し日本リ्यूージュ連盟および日本ボブスレー・トボガニング連盟に所属するオリンピック候補選手あわせて 48 名につき、人体用遠心力発生装置を用いて G 負荷実験を実施するとともに、持久性体力等の測定を実施して、選手の競技適性・安全対策等について検討した。

II 実験方法

1. 被検者

リ्यूージュについては、日本リ्यूージュ連盟所属のオリンピック候補選手男子 18 名、女子 4 名の計 22 名、ボブスレーについては日本ボブスレー・トボガニング連盟所属のオリンピック候補選手

男子 26 名について検査を実施した。それぞれの被検者の特性は Table 1 に示すとおりである。

2. 検査項目とその方法

(1) 遠心力負荷検査

a. 人体用遠心力発生装置

人体用遠心力発生装置(航空医学実験隊)は半径 8m のブームの中心に回転駆動軸が連結され、先端に 1 人乗りのゴンドラがとり付けてあり、これに被検者が椅座位で乗り込んで任意の回転速度で回転させると、頭足方向に回転数に応じた遠心加速度 (G_z) が発生するようになっている。Fig. 1 はその外形写真である。被検者からの種々の生体情報および管制室から被検者への信号は回転軸部にとりつけた多回路のスリップリングを介して有線的に計測、記録又は発信する事ができる。今回の実験では、G 負荷中の被検者の ECG, G 耐性検査のための視覚反応検査装置(後述)、電気血圧測定装置、通話装置、監視用テレビジョン装置、非常用信号装置、コリオリ刺激試験装置などの回路をセットして用いた。

b. G 耐性検査

人体に G_z の遠心力を負荷すると、心臓より頭側にある血液の重量が増加し、血圧に対抗する圧

Fig. 1 External view of human centrifuge.

Table 1. Characteristics of the subjects.

2. Bobsleigh												
No.	Subject	Sex	Age	Height	Weight	No.	Subject	Sex	Age	Height	Weight	
1	Y. O.	M	24	174.0	68.8	1	A. S.	M	25	171.1	61.0	
2	H. Y.	M	21	174.1	62.7	2	Ko. T.	M	32	170.0	76.3	
3	M. O.	M	21	157.5	60.0	3	M. M.	M	22	169.2	61.8	
4	L. S.	M	20	174.7	76.6	4	To. O.	M	25	163.9	59.0	
5	K. I.	M	20	178.1	70.3	5	H. S.	M	24	169.7	66.0	
6	M. E.	M	20	180.5	77.4	6	H. N.	M	25	171.4	59.5	
7	S. S.	M	21	168.8	62.6	7	T. M.	M	23	169.8	66.5	
8	H. O.	M	23	165.4	60.0	8	K. A.	M	23	177.0	86.0	
9	O. O.	M	21	168.6	60.7	9	R. S.	M	23	172.4	77.5	
10	T. H.	M	19	175.5	63.9	10	Y. I.	M	21	180.2	67.5	
11	M. S.	M	30	175.0	69.1	11	H. I.	M	22	170.5	65.7	
12	K. N.	M	25	183.2	68.5	12	Ko. S.	M	20	172.2	68.3	
13	S. A.	M	23	172.8	62.3	13	T. K.	M	22	168.2	58.3	
14	J. O.	M	22	161.2	60.5	14	M. S.	M	20	168.9	74.0	
15	T. K.	M	22	173.5	70.4	15	K. H.	M	23	166.0	64.5	
16	M. K.	M	21	169.5	61.0	16	Ka. T.	M	19	172.0	65.0	
17	Y. Y.	M	21	172.4	61.0	17	Ta. O.	M	22	170.5	61.7	
18	Y. O.	F	19	157.0	58.0	18	T. N.	M	19	168.7	64.0	
19	M. O.	F	21	157.5	60.0	19	Ki. S.	M	21	171.7	68.5	
20	K. S.	F	21	157.8	55.1	20	Y. S.	M	21	168.4	55.0	
21	H. S.	F	22	160.0	60.0	21	Y. O.	M	19	171.4	65.7	
						22	H. K.	M	23	164.9	65.0	
						23	H. O.	M	19	170.0	66.5	
						24	H. D.	M	19	176.1	69.5	
						25	S. E.	M	33	168.0	68.8	
						26	F. W.	M	19	163.1	60.5	

力を発生するため、網膜および脳の血流が減少する。その結果、はじめ視野が薄暗くなり (Gray-out), 次いで暗黒化し (black out), 遂に意識そう失をおこす。grayout ないし black out をおこす点の Gz の大きさは G 耐性限界値と考えられ、多少の個人差が認められる。本検査は grayout を指標として各人の G 負荷に対する耐性の大きさを評価しようとするものである。その方法は次のとおりである。被検者を人体用遠心力発生装置のゴンドラに乗せて椅座位をとらせ、予備試験として装置を回転して徐々に回転数を増し、遠心力が +3Gz になったら、この回転数を 15 秒間維持する。この間被検者の正面眼前 90cm の位置および左右 23° の方角の位置に光刺激提示用の豆ランプを装置し、中央の豆ランプを凝視させておき、左右の豆ランプを at random に点灯してこれを応答用スイッチで消灯させる。豆ランプを点灯した瞬間から右手に持った応答用ボタンを押すまでの反応時間を管制室のレコーダに自動的に記録した。以上の予備試験は被検者の殆んど全員が遅延反応を示すことなく実施可能であり、一旦ゴンドラを停止させた後これを連続 3 回繰り返した。本試験はこのような 3 回の予備試験に引き続き実施した。これは負荷 G を +3Gz で止めることなく、さらに漸増させて +6.0~6.1Gz にまであげ、ここで 30 秒間この G レベルを維持した。本試験の場合も G 負荷開始と同時に予備試験の場合と同様の光反応時間を連続的にくり返し測定記録した。grayout のため周辺視野の欠損を生じて反応時間が 3~5 秒に延長するか、又は grayout に達しなくても途中で耐えられなくなって被検者が自発的に emergency call をした点を end point とし、この点の G 値を G 耐性値とした。end point に達したら直ちに装置の回転をおとして徐々に停止させた。上記の G 耐性検査実施中は危険防止のため連続的に ECG を記録・監視するとともに G 負荷最高限界値を 6.0~6.1G, 30 秒間とした。したがって G 耐性の大きい被検者は更に大きい G 値にまで到達しうる筈であるが、判定は 6.1G となっている。

c. コリオリ刺激試験

人体に Gz を負荷しつつ、頭を左右に振ったときなどのように、一つの旋回と他の旋回とが重複して負荷されるような場合には、前庭器官に、い

わゆる Coriolis 刺激が加わり、異常空間識がおこる。急カーブをソリで滑降中に頭をふることは、Coriolis 刺激を発生させる可能性があり、その意味で Coriolis 刺激に対する反応の強さを次のような方法で遠心力負荷中に検査した。即ち +1.2~1.3Gz の軽い遠心力負荷中に頭を右旋回、中央へもどす、左旋回、中央へもどすという動作を開眼時と閉眼時とについて行ない、その間操縦桿模型によるスティック操作の中正点よりの変位量を記録した。その結果から、スティック操作にほとんど乱れを生じないもの (A)、やや乱れを示すもの (B)、および不安定な動きを示すもの (C) などに区分して、Coriolis 刺激に対する反応の強さを判定した。

d. G 負荷中の ECG

前記の G 耐性検査の際、被検者に胸骨誘導用 ECG 電極をはりつけておき、ゴンドラ内にセットした ECG 用前置増幅器、スリッピングを介して管制室内の記録器に ECG を連続的に記録した。これは、検査実施中は安全監視用として用いるとともに、実験終了後に、これより時々刻々の心拍数の変化を測定した。

e. G 負荷中の血圧

G 耐性検査のための遠心力負荷の前と後に臥位安静時の血圧を通常の聴診法で測定したが遠心力負荷中の血圧上昇反応は一時的であって、負荷解除後すみやかに回復する。従って、血圧上昇反応の強さをしらべるためには、G 負荷中にこれを測定する必要がある。このために、ボブスレー選手 10 名を選び、G 負荷中の血圧を次のような方法により測定した。即ち、上腕部にあらかじめ血圧測定用のカフを巻いておき、これとゴンドラ内にセットしたストレンゲージ型圧変換器およびカフ内空気放出用ニードルバルブに連結する。管制室にはストレンメータをセットし、スリッピングを介してゴンドラ内の圧変換器に励起用の電圧をかけ、またこれよりの出力電圧をうけるようにした。G 負荷中の適当な時期にカフ内に空気を送入して内圧をあげ、これが約 240 mmHg に達したときに、通話装置でゴンドラ内の被検者に圧放出用のニードル・バルブのコックを開くよう指示し、カフ内圧を徐々に下げた。一方カフ直下の上腕動脈部に血管音のピックアップをはりつけ、圧

Fig.2 Block diagram of measurements and recordings system for human centrifuge experiments.

曲線の記録紙上に korotkov 音を同時に描記させ、収縮期血圧と拡張期血圧を記録曲線から求めた。

以上のG負荷中の諸記録装置のブロック図をFig.2に示した。

(2) 持久性体力の測定

マックスブランク型自転車エルゴメータを用い、最大運動負荷試験を実施した。すなわち被検者に毎分60回の割合でペダルを踏ませつつ、負荷を600 KPM/分から漸増して7分30秒目に1500 KPM/分になるようにした。この間被検者が所定の回転数(60 rpm)に追従できなくなれば、その点をend pointとし、1500 KPM/分になっても余裕のある場合は30秒間全速回転をさせその回転数から最大仕事量を算出した。又end pointの2～3分前よりの30秒間毎の呼吸をダグラスバッグに採取し、最大換気量および最大酸素摂取量を測定した。さらに、運動負荷中のECGを連続的に記録し、最大心拍数を算出した。

(3) 体格・体力測定

被検者全員について、身長、体重、座高、胸囲、皮脂厚、肺活量、背筋力などを測定し比体重、比胸囲、比座高、Rohrer指数、Kaup指数、Vervack指数、Pignet指数、Livi指数、Borchardt指数、Pirquet指数、身長一体重指数、Hutchinson指数、Dryer指数、Akita指数、Balwin指数、背筋力指数などを計算した。なお、ボブスレー選手については心臓一眼距離、腹囲、腰囲の測定をも実施した。これらの測定値や諸指数とgrayoutを指標としたG耐性限界値、持久性体力指標などとの相互相関係数を求めて、G耐性と形態的要素及び体力機能的要素との関連性を検討した。

III 実験成績

1. 遠心力負荷試験の結果

リユージュおよびボブスレー選手の遠心力負荷によるgrayout試験の結果得られた耐性限界G値、その持続時間、G負荷前後の臥位安静時血圧、G負荷前、3 G負荷中、最高G負荷中および負荷後の心拍数などをTable 2およびTable 3に示し

Table 2. Grayout threshold, and changes of blood pressure and heart rate before, during, and after exposure to Gz in luge players.

Subject No.	Max. G (+Gz)	Duration (sec)	Blood Pressure (mmHg)		Heart Rate (beats/min)			
			Pre-expos. (sys/dia)	Post-expos. (sys/dia)	During expos. to +5Gz	Pre-expos. to Max. Gz	During expos. to Max. Gz	Post-expos. to Max. Gz
5	6.0	30	118/78	118/74	114	84	132	72
15	6.0	30	110/68	112/60	96	96	126	72
16	6.0	30	106/64	118/68	108	96	120	90
17	6.0	30	132/78	124/80	108	78	78	90
12	6.0	25	114/66	132/66	102	102	120	90
10	6.0	14	106/64	102/70	84	78	108	72
13	6.0	5	122/78	118/70	102	84	144	72
7	6.0	3	116/50	110/44	78	78	102	60
4	6.0	1	112/58	118/74	78	66	120	66
19	6.0	1	118/58	116/70	108	96	132	72
20	6.0	1	108/70	110/68	108	78	126	72
21	6.0	1	108/72	118/76	120	96	138	84
11	5.7	1	110/68	118/68	102	84	138	72
1	5.6	1	118/76	114/66	108	96	156	72
18	5.6	1	120/68	116/70	102	72	126	72
6	5.5	1	124/74	120/64	84	66	96	54
8	5.5	1	118/52	124/60	120	96	150	84
9	5.1	1	126/66	122/70	84	84	114	66
2	5.0	1	114/78	114/78	84	60	114	54
14	4.5	1	110/68	110/72	108	96	132	78
3	4.0	1	108/66	104/60	84	78	96	60
22	—	—	122/66	120/60	120	—	—	—

Table 3. Grayout threshold, and changes of blood pressure and heart rate before, during, and after exposure to Gz in bobsleigh players.

Subject No.	Max. G (+Gz)	Duration (sec)	Blood Pressure (mmHg)		Heart Rate (beats/min)			
			Pre-expos. (sys/dia)	Post-expos. (sys/dia)	During expos. to +3Gz	Pre-expos. to Max. Gz	During expos. to Max. Gz	Post-expos. to Max. Gz
1	6.0	30	134/68	130/68	108	84	150	90
2	6.0	30	144/88	132/78	84	78	132	72
4	6.0	30	124/78	122/60	96	96	126	72
5	6.0	30	122/66	112/68	102	84	120	72
8	6.0	30	128/64	128/68	96	90	132	78
9	6.0	30	124/64	112/56	108	90	150	84
10	6.0	30	120/56	116/56	126	108	162	90
21	6.0	30	132/68	110/58	108	78	132	72
3	6.0	21	128/70	124/70	90	84	120	72
15	6.0	20	118/62	114/68	168	102	192	90
20	6.0	19	110/56	108/62	132	114	180	66
22	6.0	14	132/64	104/54	108	90	156	72
18	6.0	8	122/70	120/62	102	78	138	60
14	6.0	6	156/72	138/74	150	126	174	96
26	6.0	3	116/58	110/60	156	108	186	72
25	6.0	1	138/70	130/74	168	126	186	108
12	5.8	1	138/52	106/50	138	126	162	60
17	5.8	1	108/58	110/64	132	114	168	78
19	5.8	1	120/58	118/60	132	96	168	78
13	5.6	1	120/72	112/66	126	108	174	84
24	5.6	1	122/50	124/50	102	84	138	84
7	5.4	1	118/54	112/54	72	72	96	66
16	5.2	1	108/50	108/66	138	102	168	90
11	5.0	1	112/72	108/62	132	96	144	78
6	4.7	1	110/58	108/50	72	72	96	66
23	4.7	1	118/56	120/64	96	96	138	78

た。

リュージュ選手 22 名のうち 12 名 (約 55%), ポブスレー選手 26 名中 16 名 (約 62%) は負荷最高限度の 6.0~6.1Gz に耐えることができた。また 4.5G 以下のものがリュージュ選手に 2 名見出された。これらは一応 G 耐性がやや低いと考えてよいが、大部分は平均的 G 耐性限界値より高い耐性を有していると判断してよかろう。リュージュ選手のうちの 1 名 (被検者番号 22) は約 1 年前海外遠征の際、転倒して氷壁に激突し重傷を負った選手で、まだ十分機能回復していないので、この被検者については、安全のため負荷最高 G を 3 G に止めたので、真の耐性限界値は見出されていない。

G 負荷前および直後に準備室のベッドに仰臥して測定した血圧は、リュージュ、ポブスレー両選手とも負荷後の収縮期血圧がやや低い値を示しているものが多いが、負荷前値に対して有意の差は認められなかった。したがって、G 負荷直後には血圧は速かに正常値に復するものと考えることが出来る。

しかし別の実験でポブスレー選手 10 名について 3Gz を 5 分間負荷し、負荷直前、負荷中 4 分目から 5 分目までの間、負荷直後回転が停止してから Gondola 内で椅座位の状態のまま測定した血圧は Table 4 に示すとおりであって、Gz 負荷中に

かなり顕著な血圧上昇を示すことが認められた。

すなわち平均値についてみると、収縮期血圧は負荷直前値 $122.8 \pm 11.7 \text{ mmHg}$ に対し負荷中は $143.3 \pm 20.3 \text{ mmHg}$ で約 17% 上昇し、拡張期血圧は負荷直前値 $57.0 \pm 5.1 \text{ mmHg}$ に対し、負荷中は $70.5 \pm 8.8 \text{ mmHg}$ で約 24% 上昇している。また脈圧も負荷中は負荷前に比し僅かに増大している。しかし、これらは遠心力発生装置の回転が止ると直ちにもとの正常値に回復している。このような G 負荷による血圧の一次的上昇は、椅座位で両腕を垂直に下げた姿勢では、上腕部はほぼ心臓の高さに位するので、これより頭側にある血管内血液柱の重量が G 負荷のため増大するためと考えられるが、若し心筋や血管壁の収縮力が之に追従し得ずして血圧上昇反応が起らなければ、脳や網膜の血液は下方に押し下げられ、頭蓋腔内は強い貧血をおこす結果となる。従ってこの血圧上昇反応は脳の血流を維持するための積極的な適応反応と考えられる。

G 負荷前・中・後の心拍数の変化も、血圧の変化と呼応して、G 負荷中にはかなり著しい上昇を示すが、G 負荷が解除されると、速かに回復している。これらの関係は Fig. 3 及び Fig. 4 に図示した。3 回の 3Gz 負荷のうち、最初の負荷が最も大きな心拍数の変動を示しており、また負荷前値もやや高い値を示しているが、これは精神的な緊

Table 4. Grayout threshold (G tolerance limit) and changes of blood pressure before, during, and after exposure to +5 Gz in bobsleigh players.

Subject No.	G Tolerance	Blood Pressure (mmHg) (Systolic/Diastolic (Pulse Pressure))				
		Recumbent on Bed, Resting Before Ride	Sitting in Gondola Pre-Exposure	Sitting in Gondola During Exposure	Sitting in Gondola Post-Exposure	Recumbent on Bed, Resting After Get off
4	6.0	124/78 (46)	110/50 (60)	145/62 (83)	103/54 (53)	122/60 (62)
5	6.0	122/66 (56)	112/58 (54)	124/57 (57)	102/52 (50)	112/58 (44)
8	6.0	128/64 (64)	130/53 (77)	157/66 (91)	124/53 (71)	128/68 (60)
21	6.0	132/68 (64)	126/59 (67)	134/63 (71)	113/58 (55)	110/58 (52)
18	6.0	122/70 (52)	123/58 (65)	155/73 (82)	130/65 (65)	120/62 (58)
25	6.0	138/70 (68)	132/59 (73)	151/68 (83)	112/54 (58)	130/74 (56)
17	5.8	108/58 (50)	123/50 (73)	135/78 (57)	108/67 (41)	116/64 (52)
12	5.8	138/52 (86)	145/68 (77)	187/93 (94)	143/71 (72)	106/50 (56)
7	5.4	118/54 (64)	125/60 (65)	137/71 (66)	122/58 (64)	112/54 (58)
6	4.7	110/58 (52)	102/55 (47)	108/64 (44)	98/47 (51)	108/50 (58)
Average	5.8	124/64 (60)	123/57 (66)	143/71 (72)	116/58 (58)	116/61 (55)
SD	0.4	9.8/7.8 (11.1)	11.7/5.1 (9.4)	20.3/8.8 (15.7)	13.1/7.2 (9.4)	7.9/7.6 (4.9)

Fig.3 Changes of heart rate during exposure to +Gz (grayout test maneuver) in Luge players.

Fig.4 Changes of heart rate during exposure to +Gz (grayout test maneuver) in Bobsleigh players.

張によるものと考えられる。また、G耐性のやや弱いものではG負荷中の心拍数の上昇度が少ない傾向が認められ、中等度のG耐性を有するものが

比較的に顕著な上昇を示すのに対し、最もG耐性の強いと考えられるグループはこれらの中間に位し、最も安定した心拍上昇反応を示している。負荷解除後の心拍数は速かに減少して、もとの値又はそれ以下に回復しているが、この曲線は運動負荷後の心拍回復曲線と比較すると、G負荷の特長がよく現われている。即ち、運動負荷の場合には、増加した心拍数は運動を中止しても、なお酸素債の償却等のために完全にもとの値にもどるまでには多少の時間を必要とするが、G負荷の場合には負荷が解除されれば、もはやエネルギー補充の必要がないため、回復も極めて速い。G負荷中の適当な心拍上昇と負荷解除後の速かな回復とが、高いG耐性を保持するための重要な条件と考えられる。

Coriolis 刺激検査の成績は Table 5 に示すように stick の操作に殆んど乱れを生じないものが、リージュ、ボブスレー両選手群ともに 46% を占め、Coriolis 刺激をうけてもその刺激の程度が極めて強度でなければ、約半数はほぼ正常な performance が維持できると考えられるが、不安定な stick 操作をしたものがリージュ選手では 27%、ボブスレー選手では 31% 存在した。

2. 持久性体力測定結果

自転車エルゴメータで最大運動負荷テストを実施した結果は Table 6 及び Table 7 のとおりである。最大仕事量はリージュ選手は平均 1623.3 ± 295.8 KPM/分、ボブスレー選手は平均 1559.6 ± 235.6 KPM/分で、リージュ選手の方が稍々高い値を示しているが両者の間に有意の差は認められない。最大心拍数はリージュ選手が 185.0 ± 7.4 、ボブスレー選手は 186.2 ± 6.8 で両者の間にほとんど差は認められない。また各選手の中には極端に大きい小さい値を示すものもなく、一般人に較べれば運動能力が平均化されているとの印象を

Table 5. Results of Coriolis stimulation, which is estimated by stick performance test, in luge and bobsleigh players.

	High Performance	Moderate Reaction	Low Performance	Total Number of Subject
Luge	46%	27%	27%	22
Bobsleigh	46%	23%	31%	26
Total	46%	25%	29%	48

Table 6. Results of maximum exercise test in luge players.

Subject	Age	Sex	Maximum Work Rate (KPM/分)	Maximum Heart Rate (Beats/Min)	Maximum Ventilation (L/Min, BTPS)
1	24	M	2170	183	122
2	21	M	1800	175	147
3	21	M	1610	190	148
4	20	M	2140	189	—
5	20	M	1690	189	—
6	20	M	1960	179	—
7	21	M	1480	173	138
8	24	M	1680	188	189
9	21	M	1490	180	147
10	20	M	1540	202	127
11	30	M	1970	180	128
12	26	M	1750	186	98
13	23	M	1740	179	101
14	22	M	1410	194	141
15	23	M	1910	194	136
16	22	M	1450	192	174
17	22	M	1480	183	154
18	20	F	1220	190	88
19	21	F	1320	192	88
20	22	F	1030	175	79
21	23	F	1250	181	95

Table 7. Results of maximum exercise test in bobsleigh players.

Subject	Age	Sex	Maximum Work Rate (KPM/分)	Maximum Heart Rate (Beats/Min)	Maximum Ventilation (L/Min, BTPS)
1	25	M	1363	181	110
2	32	M	1875	186	106
3	27	M	1605	188	111
4	25	M	1258	198	101
5	24	M	1354	181	98
6	25	M	1220	167	78
7	23	M	1346	187	116
8	23	M	1935	185	160
9	23	M	1875	188	99
10	21	M	1965	177	98
11	22	M	1875	185	129
12	20	M	1785	191	116
13	22	M	1300	185	95
14	20	M	1380	184	92
15	23	M	1426	194	118
16	19	M	1510	181	116
17	22	M	1620	197	123
18	19	M	1665	193	109
19	21	M	1875	185	136
20	22	M	1333	193	87
21	19	M	1352	186	116
22	23	M	1367	189	89
23	19	M	1500	186	113
24	15	M	1815	174	115
25	33	M	1421	193	118
26	19	M	1530	186	118

うけた。これらの数値は運動鍛練者として妥当な数値であろうと考える。

3. 体格・体力の測定結果およびこれらとG耐性との相関

リージュおよびボブスレー選手のG耐性(G), 年齢, 体重(kg), 身長(cm), 座高(cm), 胸囲(cm), 肺活量(ml), 背筋力(kg), 皮脂厚(mm), 最大仕事量(kpm), 最大心拍数(beats/min), 安静時心拍数(beats/min), 3G負荷中の心拍増加率(%), 最大G負荷中の心拍増加率(%), 比体重, 比胸囲, 比座高, Rohrer 指数 $(\frac{\text{体重}}{\text{身長}^3} \times 10^7)$, Kaup 指数 $(\frac{\text{体重}}{\text{身長}^2} \times 100)$, Vervack 指数(比体重+比胸

囲), Pignet 指数 $(\text{身長} - (\text{体重} + \text{胸囲}))$, Livi 指数 $(\frac{\text{体重}^{1/3}}{\text{身長}} \times 1000)$, Borchardt 指数 $(\frac{\text{身長} \times \text{胸囲}}{\text{体重}})$, Pirquet 指数 $(\frac{(\text{体重} \times 10)^{1/3}}{\text{身長}} \times 1000)$, 身長-体重指数 $(\text{身長} - \text{体重})$, Hutchinson 指数 $(\frac{\text{肺活量}}{\text{身長}})$, Dreyer 指数 $(\frac{\text{肺活量}}{\text{体重}})$, Akita 指数 $(\frac{\text{肺活量}}{\text{胸囲}})$, Balwin 指数 $(\frac{\text{背筋力}}{\text{身長}})$, 背筋力指数 $(\frac{\text{背筋力}}{\text{体重}})$ など30項目の測定値または計算値の平均値と標準偏差の一覧表をTable 8およびTable 9に示した。

これらの体格指標や体力指標から, リージュ及びボブスレー選手には, その競技に特有な体形又は体力的な特長は見出し得ず, 一般的なスポー

Table 8. Average values and standard deviations of grayout threshold, anthropometric and physical fitness measurements in luge players.

Measured Item	Average ± SD
1. Grayout Threshold	5.67 ± 0.56 G
2. Age of Subject	21.8 ± 2.4 yr.
3. Body Weight (W)	64.24 ± 5.83 kg
4. Body Height (H)	170.12 ± 7.39 cm
5. Sitting Height (SH)	86.37 ± 4.46 cm
6. Chest Circumference (CC)	92.43 ± 4.66 cm
7. Vital Capacity (VC)	4412.4 ± 702.5 ml
8. Back Muscle Strength	153.5 ± 30.2 kg
9. Skin Fold Thickness	8.3 ± 3.5 mm
10. Maximum Work Rate	1623.3 ± 295.8 kpm
11. Maximum Heart Rate	185.0 ± 7.4 beats/min
12. Resting Heart Rate	72.6 ± 10.5 beats/min
13. Increasing Ratio of H.R. at 3G	46.3 ± 45.4 %
14. Increasing Ratio of H.R. at Max. G	70.9 ± 27.7 %
15. Specific Weight $((W/H) \times 100)$	37.7 ± 2.4
16. Specific Chest Circumference $((CC/H) \times 100)$	54.3 ± 1.7
17. Specific Sitting Height $((SH/H) \times 100)$	50.8 ± 1.3
18. Rohrer Index $((W/H^3) \times 10^7)$	130.8 ± 11.3
19. Kaup Index $((W/H^2) \times 1000)$	2.22 ± 0.13
20. Vervack Index (Specific W + Specific CC)	92.1 ± 3.4
21. Pignet Index $(H - (W + CC))$	13.45 ± 5.78
22. Livi Index $((W^{1/3}/H) \times 1000)$	23.51 ± 0.67
23. Borchardt Index $((H \times CC)/W)$	245.5 ± 12.7
24. Pirquet Index $((W \times 10^{1/3})/H) \times 1000)$	99.7 ± 3.1
25. Height-Weight Index $(H - W)$	105.9 ± 4.9
26. Hutchinson Index (VC/H)	25.8 ± 3.3
27. Dreyer Index (VC/W)	68.5 ± 7.7
28. Akita Index (VC/CC)	47.5 ± 5.8
29. Balwin Index (Back Muscle Strength/H)	89.8 ± 15.4
30. Back Muscle Strength Index (Back Muscle Strength/W)	2.38 ± 0.35

Table 9. Average values and standard deviations of grayout threshold, anthropometric and physical fitness measurements in bobsleigh players.

Measured Item	Average $\pm$ SD
1. Grayout Threshold	5.80 $\pm$ 0.43 G
2. Age of Subject	22.6 $\pm$ 3.6 yr
3. Body Weight (W)	66.24 $\pm$ 6.52 kg
4. Body Height (H)	170.20 $\pm$ 3.69 cm
5. Sitting Height (SH)	92.58 $\pm$ 2.38 cm
6. Chest Circumference (CC)	90.89 $\pm$ 4.57 cm
7. Heart-Eye Distance	42.0 $\pm$ 2.6 cm
8. Waist Circumference	76.43 $\pm$ 4.19 cm
9. Hip Circumference	91.97 $\pm$ 3.98 cm
10. Vital Capacity (VC)	4589.2 $\pm$ 415.0 ml
11. Back Muscle Strength (BMS)	148.1 $\pm$ 18.2 kg
12. Skin Fold Thickness	17.0 $\pm$ 6.6 mm
13. Maximum Work Rate	1559.6 $\pm$ 235.7 kpm
14. Maximum Heart Rate	186.2 $\pm$ 6.8 beats/min
15. Resting Heart Rate	78.0 $\pm$ 11.2 beats/min
16. Increasing Ratio of H.R. at 3 G	50.7 $\pm$ 31.3 %
17. Increasing Ratio of H.R. at Max. G	93.3 $\pm$ 33.9 %
18. Specific Weight ((W/H) $\times$ 100)	38.9 $\pm$ 3.5
19. Specific Chest Circumference ((CC/H) $\times$ 100)	53.4 $\pm$ 2.6
20. Specific Sitting Height ((SH/H) $\times$ 100)	54.4 $\pm$ 1.1
21. Rohrer Index ((W/H ³) $\times$ 10 ⁷)	134.3 $\pm$ 11.4
22. Kaup Index ((W/H ²) $\times$ 1000)	2.28 $\pm$ 0.19
23. Vervack Index (Specific W + Specific CC)	92.3 $\pm$ 5.6
24. Pignet Index (H - (W + CC))	13.08 $\pm$ 9.64
25. Livi Index ((W ^{1/3} /H) $\times$ 1000)	23.7 $\pm$ 0.67
26. Borchardt Index ((H $\times$ CC)/W)	234.6 $\pm$ 12.6
27. Pirquet Index (((W $\times$ 10) ^{1/3} /H) $\times$ 1000)	93.9 $\pm$ 3.2
28. Height-Weight Index (H - W)	104.0 $\pm$ 5.7
29. Hutchinson Index (VC/H)	27.0 $\pm$ 2.3
30. Dreyer Index (VC/W)	69.8 $\pm$ 8.1
31. Akita Index (VC/CC)	50.5 $\pm$ 4.8
32. Balwin Index (BMS/H)	87.0 $\pm$ 10.5
33. Back Muscle Strength Index (BMS/W)	2.25 $\pm$ 0.31

ツマンの平均的性質を有していると考えてよい。なおボブスレー選手について、G耐性、年齢、身長、座高、胸囲、心-眼距離、腹囲、臀囲、肺活量、背筋力、皮脂厚、最大仕事量、最大心拍数、安静時心拍数、3G 負荷中の心拍増加率、最大G 負荷中の心拍増加率、比体重、比胸囲、比座高、Rohrer 指数、Kaup 指数、Vervack 指数、Livi 指数、Pirquet 指数、身長-体重指数、Hutchinson 指数、Dreyer 指数、Balwin 指数、背筋力など 30 項目の相互相関係数を計算した。その結果は Table

10 に示すとおりである。

Gz 耐性は grayout や black out を指標としてみた場合、体格が小さく G 負荷中の体内血液の偏在を少なくするような体格の持主には有利に作用することも考えられ、とくに Gz 負荷中の脳血流を維持し得るという点で、心臓-眼(網膜)間距離あるいは心臓-脳距離が短かいものが有利であろうとの推定ができる。また筋肉のよく発達したものや心肺機能の優秀なものも、Gz 負荷による血液の体内異常分布を正常化する能力があるとも

考えられる。このような推定に基づいてG耐性閾値と上記各指標との相関に注目したが、とくに高い相関関係を示すものは見出し得なかった。その理由は、おそらく、G耐性閾値を6Gzを最大限度としてgrayout試験により決定したため、それ以上のG耐性閾値を有するものを区分し得なかったこと、選手の体格や体力が比較的よくそろっている測定値のばらつきが少なかった事などによるものであろう。

IV 考 察

遠心力負荷中の人体の耐性限界と生命の危険域については、Armstrong, Zuidema¹⁾, Gauer²⁾, Kornhauser³⁾, 齊藤⁴⁾らなどの報告がある。Millar⁵⁾の報告によると、+Gzを負荷した場合通常5~6G, 1分以内にblack outをきたし、数秒後に意識を失うといわれている。また、grayoutの閾値は、Zarriello⁶⁾が115人の被検者について測定した結果、視角23°の位置にあるランプの消滅を指標とした場合、平均4.5Gz (Range=2.9~9.4Gz, SD=0.8G), 持続時間は平均5.1sec (Range=1.9~11.9sec)と報告している。このようなgrayoutやblack outあるいは意識を失うがG負荷の強さに応じて発現する原因は、心臓より頭側にある血管柱の重量がGz負荷によって物理的に増大し、これが心臓や血管の収縮による血圧と相殺された場合に、先づ網膜の血流の減少・停止、つづいて大脳の血流停止をひきおこすためと考えられる。心臓-眼球間の血管内血液柱の心臓に及ぼす圧力が血圧と釣り合う状態は、そのときの負荷Gz値をGt, 血圧をP(mmHg), 心眼距離をD(mm), 水銀の比重を13.6, 血液の比重を1.0とすれば $Gt = \frac{P \times 13.6}{D}$ で表わされ、心眼距離を40cm, 正常の血圧を120mmHgと仮定するとGt=4.08Gという物理的な計算値が得られる。したがってもし心臓の駆出力が増大しなければ、+4Gz負荷でgrayout乃至black outがおこる筈である。ここで心臓の駆出力が増大して140mmHgの血圧と釣り合うようになるとすれば、Gt値は4.76Gにまで増大する。Zarrielloらの成績もほぼこの範囲にある。以上のような考察から理解出来るように、G耐性は単に物理的な因子のみできまるものではなく、G負荷中の血圧上昇反応や

心臓の駆出力に影響される所が大きい。ここにG耐性の強さに個人差が現われる原因があると考えられる。適正な血圧上昇反応や心拍増加反応が発現することはG負荷耐性をたかめる上に必要なことである。著者が、リージュおよびボブスレー選手について測定したG耐性閾値と、G負荷中の血圧や心拍数についてみると、いずれも適正と考えられる反応を示している事がうかがわれるが、血圧上昇度に比してG耐性値(grayout閾値)の方がやや高くなっている。これはおそらくG負荷中の体位や姿勢の変化によるのではないかと考えられる。即ち被検者は今回の実験ではシートベルトや肩ハーネスで身体を座席に固定していないので、負荷Gが増加するにつれて上体が座席内に沈下し、腰より上部の体軸と負荷のG方向とが一致しなくなる。これは心臓-眼球間の血管柱の高さを短縮させる結果となり、G耐性をたかめるように作用する。このことは、Gの作用方向が体の長軸に直角に作用する場合(GxおよびGy)にG耐性が極めて高くなることからもうなづかれる。Chambers⁷⁾⁸⁾の報告にも+Gz耐性に比し+Gx耐性が極めて高いことが示されている。実際に、リージュやボブスレー競技の際カーブの半径20mのコースを時速100kmで滑降すると計算すれば、約3.9Gの遠心加速度が発生すると推定されるが、これはgrayoutを起すことなく十分に耐えられるG負荷である。更に、ソリに乗った姿勢はカーブを滑降するときには遠心力が+Gxの方向にかかるようになるので一層G耐性は高められる。従って、実際問題としてgrayoutによる視覚機能の低下が操縦をあやまる原因となるとは考えられない。むしろ、G負荷の為の手足、頭部、躯幹の自由な運動が抑制されるための操縦操作の妨害の方が問題となる。例えば、Creer⁹⁾, Clarke¹⁰⁾, およびKaehler¹¹⁾の報告を総合すると、+Gx負荷時の航空機操縦動作や目標追跡運動などのperformanceの誤りをおかす割合は、+4Gzで10~20%低下すると判断される。このようなperformanceの低下はトレーニングにより改善することが可能であるので、ソリ競技の場合にもこの点に留意して訓練を行なう必要がある。

リージュやボブスレー競技の場合、カーブを

高速で滑降中に最も危険な誤りをひき起す原因と考えられるのは、Coriolis 刺激による空間識の異常であろう。Coriolis 刺激の際の典型的な徴候は眼振の誘発であって、Guedry¹²⁾¹³⁾ は 6 r.p.m. の刺激で眼振が起ることを報告している。また岩根ら¹⁴⁾、斉藤ら¹⁵⁾ の実験によると、比較的低い G (合成 G で 1.14 G) のもとで、頭の左旋回運動を行うと、遠心力発生装置の右回転の状態でも右前方に航空機操縦桿シミュレータを動かすという危険な操作がかなりの頻度で起るという。今回の著者の実験においても約 30% の被検者が Coriolis 刺激により異常操作をおこしている。このような現象は極めて低い G 負荷でも、また G の作用方向の如何に拘らずおこりうる可能性があり、正常な前庭機能を有するものについても生理的に発現する現象である。当然ソリでカーブを滑降中に、頭部を急激に旋回させるような事があれば競技者の前庭器官に Coriolis 刺激を加えることになり、異常な空間識をひき起す可能性がある。仮にこの異常感覚にもとづいて、ソリの操縦を修正するようなことがあれば、非常に危険な状態が発現することになる。このような危険を防止するためには、各選手が Coriolis 刺激がどのような感覚現象をひき起すかを、遠心力発生装置などにより安全な方法で体験しておき、これを活かして安全な滑降競技ができるよう訓練計画を立てることが望ましい。

V 要 約

冬期スポーツの 1 種であるリュージュ及びボブスレーは、わが国では歴史が浅く、また非常な危険を伴う競技であるに拘らず、スポーツ医学的検討が行なわれていない。特に氷壁で囲まれた急カーブのコースを高速で滑降する際に生ずる遠心力が競技者に及ぼす影響は極めて重大な問題である。著者は今回両競技の選手あわせて 48 名(うち女子 4 名)につき、遠心力負荷実験、体格・体力などの測定を実施して、安全確保のための検討を加えた。おもな研究成果は次のとおりである。

1) 人体用遠心力発生装置を用いて grayout を指標とした +Gz 耐性閾値を決定した。リュージュ選手は +5.67Gz (Range=4.0~6.1, SD=0.56), ボブスレー選手は +5.80Gz (Range=4.7~6.1, SD=0.43) であって、+Gz 負荷に伴う

血圧、心拍数上昇も適正な生理的反応を示した。

2) 自転車エルゴメータによる最大仕事量および最大心拍数は、運動鍛練者として適正な値を示した。

3) 軽い +Gz 負荷中の Coriolis 刺激によって、約 30% の被検者に操縦桿操作 performance の低下を示すものが認められた。

4) 両競技の安全を確保するためには、各選手は適正な G 耐性と G 負荷に対する生理的な適応反応を示すことが必要であり、また競技中の Coriolis 刺激による異常空間識を誘発しないよう訓練を行なう必要がある。このためには遠心力発生装置などにより G 負荷の体験をさせることが望ましい。

稿を終えるにのぞみ、御懇篤なる御教導、御校閲を頂いた恩師岡田見教授、万木良平博士(航空医学実験隊)に深謝の意を表する。

また研究に御協力下さった、航空医学実験隊遠心力班、生物力学班の各位に篤く御礼申し上げる。

(受付 昭和 46 年 4 月 13 日)

文 献

- 1) Zuidema, G.D., et al (1956) Human tolerance to prolonged acceleration. J. Aviat. Med., 27: 469-481.
- 2) Gauer, O. (1950) The physiological effects of prolonged acceleration. German Aviat. Med., World War II, Vol. I, IV-B.
- 3) Kornhauser, M. (1961) Theoretical prediction of the effect of Rate-of-Onset on man's G tolerance. Aerospace Med., 32: 412.
- 4) 斉藤一郎ほか(1962): 加速度負荷の循環機能に及ぼす影響(第 1 報) +G 負荷中における心臓の形態変化と生命の危険閾について、医実報告 2(2): 1-11.
- 5) Miller, H., and Riley, M.B. (1958) The duration of tolerance to positive acceleration. WADC-TR 58-635. Wright Air Development Center, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- 6) Zarriello, J.J., M.E. Norsworthy, and H.R. Bower(1958) A study of early grayout threshold as an indicator of human tolerance to positive radial acceleratory force. Project

- NM 11-02-11, Subtask 1, Report No. 1, U.S. Naval School of Aviation Medicine, Pensacola, Florida.
- 7) Chambers, R.M. (1963) Operator performance in acceleration environments. Chapter 7, pp. 193-320, in : Burns, Chambers, and Hendler, Unusual environments and human behavior. The Free Press of Glencoe (The Macmillan Co.), New York.
- 8) Chambers, R.M., and L. Hitchcock (1962) Effects of high G conditions on pilot performance. pp. 204-227 in : Institute of the Aerospace Sciences, Proceedings of the national meeting of manned space flight. New York.
- 9) Creer, B.Y., J.D. Stewart, and J.G. Douvillier, Jr. (1962) Influence of sustained acceleration on certain pilot performance capabilities. *Aerospace Med.* 33 : 1086-1093.
- 10) Clarke, N.P., A.S. Hyde, N.S. Cherniak, and E.F. Lindberg (1959) A preliminary report of human response to rearward-facing re-entry acceleration. WADC-TN 59-109. Wright Air Development Center, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- 11) Kaehler, R.D. (1961) The effects of transverse accelerations and exponential time-lag constants on compensatory tracking performance. Project 7222, Contract AF 33 (616)-5407. School of Medicine, Univ. of Southern California, Los Angeles, Calif.
- 12) Guedry, F.E., and E.K. Moutgue (1962) Quantitative evaluation of the vestibular Coriolis reaction, *Aerospace Med.* 32 : 487.
- 13) Guedry, F.E., and L.S. Lauver (1961) Vestibular reaction during prolonged constant angular acceleration. *J. Appl. Physiol.* 16 : 215.
- 14) 岩根正昭ほか(1968) 軽い遠心力負荷中のコリオリ刺激が操縦操作におよぼす影響, 医実報告, 8(4) : 135~141.
- 15) 齊藤一郎, 岩根正昭(1963) コリオリ加速度の生体に及ぼす影響の2・3について, 航宙医心 1(1) : 11, 1963.