平成２５年度厚生労働科学研究費補助金

障害者対策総合研究推進事業
（身体・知的等障害分野）

報　告　書

厚生労働省

実施機関：日本障害者リハビリテーション協会

目　　次

＊若手研究者育成活用事業

「脊髄損傷者アスリートの体力の特徴と障害特性について」

小林 裕央（東京大学大学院総合文化研究科）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5

若手研究者育成活用事業

脊髄損傷者アスリートの体力の特徴と障害特性について

小林 裕央
東京大学大学院総合文化研究科

本稿は、平成 25 年 4 月から平成 26 年 3 月にかけて、厚生労働科学研究費補助金（障害者対策総合研究事業（身体・知的等障害分野））「障害者のスポーツにおける障害と種目特性に関連した競技力向上等に関わる研究」（平成 24 年度～26 年度）に従事し、研究活動を行なった際の成果報告である。平成 25 年度は脊髄損傷車いす陸上競技選手を対象に障害の特徴が競技にどのような影響を及ぼしているのかを検討した。本報告書では、脊髄損傷者の有酸素能力に関する文献調査をおこなってその特徴をまとめると共に、国内の脊髄損傷車いす陸上競技のトップアスリートを対象に選手の有酸素能力を調べ、その種目特性や個々の障害がもたらす影響について検討した。以下に、その成果について報告する。

はじめに

障害者スポーツとは、何らかの障害を持つ人々がスポーツ活動を行えるよう、従来のスポーツのルールや道具を障害や個々の特徴に合わせて行うスポーツのことである。障害を持つ人々の個々の特性に合わせるという意味でアダプテッド（adapted）スポーツとも呼ばれる[1]。障害者スポーツはリハビリテーションの一環として、また、障害を持つ人々の心理面、精神面の向上や、社会、コミュニティへの再統合を果たすための役割の一部を担う位置づけにあるといえ、障害を持つ人々のライフスタイルを向上させる有益な手段である。また、競技スポーツとしても障害者スポーツは大きな発展を遂げている。現在では競技力向上を目指す障害者アスリートの数も大きく増え、パラリンピックをはじめ、スペシャルオリンピック、デフリンピックなど非常に規模の大きな国際大会が開催されるまでになった。

障害者スポーツの歴史は、今から約 200 年前の記録が残されている。19 世紀初頭に起こったナポレオン戦争の戦時中に、グリニッジ病院の片腕の患者のチームが、片脚患者のチームとクリケットで対戦したのが障害を持つ人々がスポーツに参加した最初の記録とされている[2]。第一次大戦中にはイギリスで義足の障害者を対象にバレーボールが導入され、競技ではないがリハビリテーションの方法として水泳が用いられた[3]。また、ドイツ人医師の Karl Gebhardt は、障害を持つ人々のリハビリテーションにスポーツを活用した[4]。その他にもイギリスやドイツなどで障害を持つ人々のスポーツ活動や競技会が行われるようになり、障害を持つ人々にとってスポーツ活動の意義やその役割は、次第に、国際的に高まっていった。

Ludwig Guttmann と競技としての障害者スポーツの発展

Ludwig Guttmann はドイツ出身のユダヤ系神経学者であり、彼もまた、障害を持つ人々に対しリハビリテーションとしてスポーツを活用した代表的な存在である。後にパラリンピックへと発展する国際ストーク・マンデビル大会を開催した人物でもあることからパラリンピックの父とされる。ドイツ出身の Guttmann は、国内の大学で医学を学んだ後、

ドイツ人神経学者の Otfrid Foerster (1873-1941)の下で神経学やリハビリテーションについて学び[5]、運動療法や痙性除去のための脊髄や神経根の手術について卓越した知識や考えを学んだ[2]。その後もドイツのブレスラウにあるユダヤ病院で医師として勤務していたが、1939 年にナチスが台頭したドイツから離れ、ポルトガル経由でイギリスに亡命した[5, 6]。亡命後はイギリスの Oxford で研究を続けていたが、当時、脊髄損傷を患った者は尿路感染症などが原因となり、その平均寿命はわずか数か月であった。特に、第二次世界大戦の戦場で負傷した兵士の治療は軍の病院で行われていたが、再び戦場に戻すための治療を役目としており、脊髄損傷者の十分な治療を行なうことが出来なかったため専門的に脊髄損傷を治療する機関が必要であった。そこでイギリス政府は、1943 年に負傷した兵士を治療するために、ストーク・マンデル病院に脊髄損傷科(のちに脊髄損傷センター)を設置することを決めた。しかし、そこでの業務を任せられる神経学者が不在であったため、その設立に携わった神経学者の George Riddoch が Guttmann を起用し、1944 年 6 月、Guttmann はストーク・マンデビル病院内に設置された国立脊髄損傷センター（the National Spinal Injury Centre: NSIC）に着任した[5]。

Guttmann は脊髄損傷者のリハビリ―テーションやレクリエーションとしてスポーツを積極的に取り入れた。脊髄損傷を受傷後、下肢を不活動のままにしておくと筋の拘縮や下肢の深部静脈血栓症など 2 次的な合併症の併発に繋がるため、褥瘡の治療や尿路感染を防ぐための膀胱ケアなどの脊髄損傷の初期治療を終えると、Guttamann は段階的に患者に動くことを推奨した[2]。その後、ストーク・マンデビル病院の病棟、体育館、そして芝生などを活用してスポーツ活動を行なわせた。当初は、アーチェリー、スヌーカー、卓球などの個人種目から始まり、やがてチームスポーツとして、車いすポロを導入した。しかし、下肢や顔面を負傷する患者が多かったため、その後、車いすバスケットボールが導入された[2, 7]。当時から、スポーツ活動は単に身体機能向上のためだけでなく、脊髄損傷者の心理面・精神面の向上にも繋がる。彼らが再び社会やコミュニティへ再統合するために、スポーツ活動は非常に有益な効果をもたらすと考えられた[7]。

脊髄損傷の患者によるスポーツ活動は、やがて競技スポーツへと発展していった。1948 年 7 月 28 日、Royal Star and Gartner Home とストーク・マンデビル病院の 16 人のイギリスの退役軍人と女性がストーク・マンデビル病院の芝生でアーチェリーの競技会に参加した。この競技会が第 1 回ストーク・マンデビル競技大会となり、障害者スポーツがリハビリテーションから競技という側面にも変遷した[2]。1950 年には 14 チーム、60 人の参加者数となり、1952 年にはオランダのチームが競技会へ参加したことによって国際ストーク・マンデビル競技大会となり、障害者スポーツにとって初めての国際的な競技会となった。そして、1960 年にローマで開かれた国際ストーク・マンデビル競技大会は 23 ヶ国 400 人の参加者を集め、これが第 1 回パラリンピックとして位置づけられている。続いて東京で開催された大会は初めてオリンピックと同じ会場で実施された。その後も着実に参加国や参加者数が増え続け、1985 年に国際オリンピック委員会がオリンピック年に開催する国際身体障がい者スポーツ大会をパラリンピックスとすることに同意し、夏季競技は 1988 年のソウル大会から、冬季競技も 1992 年のアルベールビル大会からパラリンピックとして正式に開催されるようになった。2012 年のロンドン大会では 164 ヶ国、4,237 人の参加者数となり[8]、デフリンピックやスペシャルオリンピックスと合わせ、戦後、障害者スポーツは目覚ましい発展を遂げた。

身体活動に影響を及ぼす脊髄損傷の障害特性

脊髄損傷とは脊髄が外力などによって損傷を受けた状態のことであり、損傷のタイプは完全損傷と不完全損傷に分類される。前者は脊髄が完全に離断されるため、損傷レベル以下では上位中枢からの運動指令が遮断される。また、損傷部位の下位レベルからの感覚情報も遮断されるため､完全損傷型の脊髄損傷者は運動機能や知覚･感覚機能が失われる。一方で、不完全型は一部機能が残存するため、損傷の程度によってその症状は異なる。基本的に、損傷部位がより上位になるほど喪失される機能は多くなる。例えば、頸髄損傷は上肢機能や最大心拍数などが損傷の影響を受けてしまう。一方、胸椎や腰椎レベルで損傷した場合、上肢機能は保持されるが体幹や下肢の機能が損傷部位によって影響を受ける〔9, 10〕。脊髄損傷の主な症状として、自律神経障害、呼吸機能障害、膀胱機能障害、褥瘡、性機能障害、直腸障害、その他痙性や深部静脈血栓症といった合併症があり、これらの症状は脊髄損傷者のライフスタイルや寿命に大きく影響する。そのため、今でこそ医療技術の進歩によって平均寿命は 70 歳を超えるまでになったが〔11〕、以前は受傷後わずか数年程度しか生存することが出来なかった。また、運動機能に及ぼす影響も大きい。例えば、損傷部位の不活動による筋の萎縮、自律神経障害による最大心拍数や発汗、体温機能に対する影響、そして健常者と比して基礎代謝量やエネルギー消費量の低下などがあり、肥満、糖尿病、心疾患といった二次障害を抱える人も少なくない。

脊髄損傷者は生命維持に関わる様々な機能を調節する自律神経に障害を受けてしまう。自律神経は主に脳幹、視床下部、脊髄、そして大脳皮質の一部で制御されている。基本的には意思による制御ができない仕組みのため、運動・感覚障害と違って自覚しにくい障害〔10〕だが、脊髄損傷者の運動能力に対するその影響は大きい。

自律神経は交感神経系と副交感神経系の 2 つの神経系に大別される。交感神経や副交感神経は神経節前と神経節後という 2 本の神経細胞からなる。それらは神経節で連結してシナプス結合しており、アセチルコリンにより神経の興奮が伝達されている。神経節後では副交感神経ではアセチルコリン、交感神経ではノルアドレナリンやアドレナリンが神経伝達物質として用いられている〔11〕。交感神経系は第 1 胸髄（T1）～第 2 腰髄のところから始まり各臓器を支配している。中でもカテコールアミンの産生と放出を行っている副腎は第 5～第 9 胸髄に支配されている。このシステムは肝臓のグルコース分解と新生に関与しているため、代謝系に大きな影響を与える〔9〕。したがって、損傷部位によって交感神経系の活動が異なるため、特に頸髄損傷など上位レベルでの損傷を持つアスリートは、運動時に大きな影響を受けてしまう。例えば、アドレナリンとノルアドレナリンの濃度を安静時、負荷を漸増させた車いすエクササイズ、そして、最大酸素摂取量の 60%と最大強度によるエクササイズ中で計測したところ、四肢麻痺者は対麻痺者や健常者と比して安静時の両濃度が低かった。また、エクササイズ中のアドレナリンとノルアドレナリンの分泌量もわずかな増加にとどまった。上位損傷による対麻痺者は健常者と比してノルアドレナリンは同等だったが、アドレナリンの濃度は低かった。これらの結果から、頸髄損傷などの上位での損傷は交感神経系の機能に大きな障害を受け、また、損傷レベルによって交感神経系の機能が異なることが示された〔9, 12, 13〕。

このような自律神経系の障害は脊髄損傷者の体温調節機能にも障害をもたらす。ヒトの体温は産熱と放熱によって調整されている。この調節は自律神経などの働きによって行われ、産熱に対し、皮膚血流の増加や発汗によって放熱することで安静時の身体の深部体温

（中枢温）は 37℃に保たれる。脊髄損傷者は、主に皮膚血流調節障害や発汗調節障害による体温調節障害が見られ、特に車いすマラソンなど長時間にわたる運動を行うとき、熱中症、脱水症状、熱疲労、熱失神などに十分気を付ける必要がある〔14〕。また、環境温や風速に依存して体温が変化するため、脊髄損傷者は特に行動性の体温調節に務めることが重要となる〔10〕。

また、運動時の心拍数上昇にも損傷部位によって障害が起こる。例えば、心拍数の調節は第 5 胸髄節以下の損傷であればほとんどその機能が維持されるが、頸髄損傷など、それより上位で損傷を受けるとかなり大きな影響を受けてしまう〔10〕。心拍数の調節は交感神経活動の亢進（心拍数を増やす）と副交感神経活動の減少（心拍数を抑制する）によって行われる。主に、心拍数 100 以上の上昇は交感神経活動の亢進によって行われるため、完全四肢麻痺の頸髄損傷者は強度の高い運動を継続的に行ったとしても心拍数の上昇は 120 程度までしか上がらない。そのため、健常者と比して最大酸素摂取量は大きく減少してしまう〔10〕。このように自律神経障害による代謝系および呼吸循環系への影響は、脊髄損傷者の運動パフォーマンスに大きく影響し、また、その影響は損傷部位によって異なるため個人差も大きいものとなる。

表 1 四肢麻痺者の競技者／非競技者別の上肢運動中のピークパワー、ピーク酸素摂取量、最大心拍数

Study	n	Test Mode	Lesion	Sports	Peak Power (W)	$\dot{V}o_2$ (L/min)	$\dot{V}o_2$ (ml/kg/min)	Heart Rate (beats/min)
Non-Trained								
Valent et al.[31]	22	WCT	C5-C8 i	—	42.5	1.32	17.3	
Eriksson et al.[21]	12	WCR		—		0.88	13.9	119
	6	WCR	incomplete	—		1.18	16.4	164
Haisma et al.[32]	22	WCT		—	17	0.85		112
Schmid et al.[12]	25	WERG		—	33.1	1.03		110
Bhambhani et al.[33]	7	WCT	C5-C8	—		1.07	15.1	117
Bhambhani et al.[34]	8	WCR	C5-C8	—		1.06	14.9	118
Janssen et al.[35]	9	WCT	C4-C8	—	29.6	1.09	13.6	130
Van Loan et al.[20]	11	ACE	C5-C8	—		0.80	12.0	109
Trained								
Barfield et al.[36]	9	ACE	C5-C7	WRU	58	1.10	16.01	118
Bhambhani et al.[34]	8	WCE	C5-C8	WRA		1.43	19.8	121
Campbell et al.[37]	3	WCT	C6/C7	WRA		1.28		112
Ready[38]	6	ACD	C6-C7	WRA		1.08	15.0	122
Eriksson et al.[21]	8	WCR		WRA		1.11	17.4	118
West et al.[39]	7	ACE	C6-C7	WRU			19.4	123

Values are mean; n, number of subjects; ACE, arm cranking ergometer; WCT, wheelchair treadmill; WCE, wheelchair ergometer; WCR, wheelchair roller system; WERG, wheelchair ergometer; C, cervical; Th, thoracic; WRU, wheelchair rugby; WRA, wheelchair racing

表 2 対麻痺者の非競技者別の上肢運動中のピークパワー、ピーク酸素摂取量、最大心拍数

Study	n	Test Mode	Lesion	Sports	Peak Power (W)	$\dot{V}o_2$ (L/min)	$\dot{V}o_2$ (ml/kg/min)	Heart Rate (beats/min)
Non-Trained								
Haisma et al.[32]	80	WCT		—	35	1.07		147
Yamasaki et al.[27]	12	ACE	Th4-L3	—		1.30	22.4	161
Eriksson et al.[21]	9	WCR		—		1.66	22.0	186
	6	WCR	incomplete	—		1.81	25.4	183
Tahamont et al.[40]	6	WERG	Th10-L4	—	42.8	0.90	14.9	150
Schneider et al.[41]	6	ACE	Th10-Th12	—		2.02	29.6	185
Schmid et al.[12]	10	WERG	Th1-Th4	—	66.9	1.82		172
	10	WERG	Th5-Th10	—	79.0	2.18		182
	10	WERG	below Th11	—	71.2	2.25		176
Okuma et al.[42]	7	WCT	Th4-L3	—		1.32	22.6	179
Mossberg et al.[43]	11	ACE	Th5-L5	—		1.40	19.4	180
Raymond et al.[44]	10	ACE	Th5-Th12	—		1.81	26.3	175
Bhambhani et al.[33]	6	WCT	Th5-L4	—		1.90	26.6	188
Janssen et al.[35]	6	WERG	Th1-Th5	—	55.0	1.45	17.6	165
	15	WERG	Th6-Th10	—	65.8	1.61	21.2	187
	14	WERG	Th11-L5	—	77.2	1.92	26.2	181

Values are mean; n, number of subjects; ACE, arm cranking ergometer; WCT, wheelchair treadmill; WERG, wheelchair ergometer; C, cervical; Th, thoracic; WRU, wheelchair rugby; WRA, wheelchair racing

表 3 対麻痺者の競技者別の上肢運動中のピークパワー、ピーク酸素摂取量、最大心拍数

Study	n	Test Mode	Lesion	Sports	Peak Power (W)	$\dot{V}o_2$ (L/min)	$\dot{V}o_2$ (ml/kg/min)	Heart Rate (beats/min)
Trained								
Knechtle et al.[45]	5	WCT	C7-Th12	WRA		2.49	43.2	182
Yamasaki et a l.[27]	6	ACE	Th3-L2	WRA		1.40	27.3	174
	5	ACE	Th6-L3	WB		1.40	23.7	172
	5	ACE	Th11-L2	WT		1.80	30.7	161
Tolfrey et al.[46]	6	WERG	Th10-L4	WRA		2.59		189
Rotstein et al.[47]	4	WCT	Th4-L5	WB			19.8	187
		ACE					22.0	182
Price et al.[48]	6	ACE		WRA	129		31.0	180
Okuma et al.[42]	14	WCT	Th7-L1	WRA		1.80	35.0	175
Campbell et al.[37]	8	WCT	Th1-Th7	WRA		2.06		188
	9	WCT	below Th7	WRA		2.20		198
Gass and Camp.[25]	6	WCT	Th10-L3	WRA		2.86	47.5	190
Cooper et al.[49]	11	WCE	Th3-L2	WRA		2.43	36.8	187
Hooker and Wells[50]	6	ACE	Th4-Th12 i	WRA		2.72	43.1	180
Veeger et al.[29]	11	WCT		WB	96.8	2.74	37.9	186
	6	WCT		WTR	87.3	2.86	44.9	181
	7	WCT		WL	68.0	1.93	27.1	172
	4	WCT		TT	56.9	1.82	30.7	172
	4	WCT		FC	76.6	2.02	29.2	182
	3	WCT		SWM	65.2	2.13	39.0	179
	1	WCT		ARC	48.2	1.40	17.5	158
	4	WCT		TS		1.32	16.3	148

Vinet et al.[53]	4	WCT	Th8-L3	WT	34.9	181
	3	WCT	Th4-L1	WRA	39.3	189

Values are mean; n, number of subjects; ACE, arm cranking ergometer; WCT, wheelchair treadmill; WCE, wheelchair ergometer; WERG, wheelchair ergometer; C, cervical; Th, thoracic; WRA, wheelchair racing; WB, wheelchair basketball; WT, wheelchair tennis; WTR, wheelchair track; WL, weight lifting; TT, table tennis; FC, fencing; SWM, swimming; ARC, archery; TS, target shooting

脊髄損傷者の競技スポーツ選手の有酸素能力の特徴に関する文献調査

脊髄損傷者の有酸素能力やエネルギー消費は筋質量の低下や自律神経障害といった脊髄損傷特有の障害によって大幅に低下する[9, 14]。例えば、安静時基礎代謝量を比較した研究[15]では、脊髄損傷者（損傷部位：C6-L3）は~1870 kcal/day と、健常者（~2365 kcal/day）の約 75%だったことを報告している。一方、普段スポーツ活動に取り組む脊髄損傷者では健常者と違いがないことを報告しており[16]、損傷部位レベルによってその値は異なるものの[17]、長期的なスポーツ活動は脊髄損傷者の代謝機能を向上させることが示されている。

運動時の有酸素能力もまた、スポーツ競技に従事することでそのトレーナビリティが明らかとなっている。運動中の有酸素機能を評価する指標として最大酸素摂取消費量（VO_2 max）がある。VO_2 max は 1 分間に体内へ取り込まれる酸素の最大量のことであり、一般に体重あたりの相対量で評価される。VO_2 max の値は酸素を体内に運搬し利用する能力全般によって決まるため、最大心肺能力を評価する上で最適な方法とされている。脊髄損傷者などが上肢エルゴメータ等を用いて運動時の有酸素能力を評価する場合、下肢と比べ動員される上肢筋群の筋質量はかなり小さいため完全に呼吸循環系機能を評価することは難しい。そのため、多くは VO_2 max の代わりに VO_2 peak が用いられる[14]。

車いす競技者の有酸素能力を損傷部位、競技の有無、競技種目による特徴を表 1（四肢麻痺者）、表 2（対麻痺者）、表 3（対麻痺競技者）にまとめた。普段スポーツ競技に取り組んでいない四肢麻痺者の有酸素能力は 12.0-17.3 ml/kg/min と対麻痺者や健常者と比べて大幅に低く、特に完全損傷に限れば 15.1 ml/kg/min 以下で極めて低い。完全損傷の四肢麻痺者の場合、体幹部および下肢の麻痺に加えて上肢も損傷部位によっては残存機能が少なくなる。例えば、C5（第 5 頸髄）損傷では肘関節の屈曲はできるが伸展は出来ず、その機能が残存するのは C7 以下となる。このように、不活動部位の多い頸髄損傷者は筋質量が著しく低下するため運動中のエネルギー消費量が低下する。また、頸髄損傷者は自律神経障害による交感神経調節の障害から、最大心拍数の上昇が 100-120bpm 程度に留まってしまう[10]。そのことで起こる最大心拍出量の低下も運動中の酸素摂取量に大きな影響を及ぼす。

測定方法の違いや被験者の残存機能の違いなどはあるが、頸髄損傷のスポーツ競技者（15.0-19.8 ml/kg/min）は非競技者と比べてピーク酸素摂取量が高い（表 1）。一方、頸髄損傷の競技者の最大心拍数は非競技者と同程度であることがわかる。$VO_{2\ peak}$ の増強には最大心拍出量（中枢性）の増加と動静脈酸素較差（anterio-venous oxygen difference [(a-v) O_{2diff}]；末梢性）の拡大が大きく寄与している[18]。最大心拍数に差がないことを踏まえると、$VO_{2\ peak}$ 値の差は、心臓の収縮力、循環血液量（前負荷）、そして心臓から血液を出すときの抵抗（後負荷）によって決定される 1 回拍出量と(a-v) O_{2diff} 違いによるものと考えられる。これに関しては、頸髄損傷者のピーク酸素摂取量の増加は、(a-v) O_{2diff} の増加による末梢性の適応によるものとする報告[19]もあれば、一方で Van Loan et al. (1987)はピーク酸素摂取量は明らかな差がある健常者、対麻痺者、四肢麻痺者間では(a-v) O_{2diff} に差は見られなかったと報告しており 1 回拍出量の影響も含め有益な見解が得られていない[20]。

四肢麻痺者と比べて体幹や下肢の一部に残存する機能を持つ対麻痺者は、そのピーク酸素摂取量（14.9-29.6 ml/kg/min）は大幅に高くなる。Eriksson et al. (1998)によれば、

上肢運動中のピーク酸素摂取量は完全損傷者と比べ不全損傷者の方が高かったことを報告している[21]。また、上肢運動中のピーク酸素摂取量を損傷部位レベル別に比較した報告によれば、下位レベルになるほどピーク酸素摂取量が高かった[22-24]。また、対麻痺者の場合、運動中の最大心拍数は非競技者でもかなり高い値まで上昇することから、対麻痺者のピーク酸素摂取量は機能が残存する筋量によるものが大きい。

対麻痺の競技者、特に持久系競技のピーク酸素摂取量は 47.5 ml/kg/min とかなり高い[25]。健常者では、より全身の筋が動員される下肢運動中のピーク酸素摂取量（男子：59.0 ml/kg/min、女子：50.9 ml/kg/min）に対し、上肢運動中のピーク酸素摂取量は、男性：34.0 ml/kg/min、女性：25.9 ml/kg/min 程度[26]であり、対麻痺の競技者の有酸素能は健常者のそれをはるかに超えるほどのトレーナビリティが確認されている。しかし、健常者の場合、車いす競技者と比べて普段上肢運動をする機会が少ないため、その差は上肢筋群の疲労による影響も大きいと考えられる。

また、競技別のピーク酸素摂取量を比較すると、車いすマラソン選手が平均的に高い。また、車いすテニス（WT）も 30.7-34.9 ml/kg/min と高い値を示しており[27, 28]、車椅子バスケットボールや水泳等持久系能力が必要とされる競技では、それがあまり必要とされない競技（車いすフェンシング、アーチェリー）と比べ高いトレーナビリティが報告されている[29]。これは、冬季競技においても同様であり、ポリオ、二分脊椎、義足の選手も平均データに含まれてはいるが、カーリング（23.4 ml/kg/min）に対し、アルペンスキー（31.3 ml/kg/min）、ノルディックシッティングスキー（46.2 ml/kg/min）、アイスホッケー（32.4 ml/kg/min）選手は高い有酸素能があることが確認されている[27, 30]。
以上をまとめると、脊髄損傷者の有酸素能力は、(1) 対麻痺者と比べ四肢麻痺者は低いこと、(2) 四肢麻痺の競技者のピーク酸素摂取量は対麻痺の非競技者よりも高い値を示すこともあり、頸髄損傷でも十分なトレーナビリティがあること、(3) 対麻痺の競技者は中には健常者のピーク酸素摂取量と同等かそれ以上となること、そして (4) 特に持久系競技では高い値を示すこと、が挙げられ、脊髄損傷者においても有酸素能力は十分なトレーナビリティがあるといえる。一方、損傷部位による影響はかなり大きいため、脊髄損傷者においては、その障害特性を踏まえて有酸素能力を評価する必要がある。

国内の車いす陸上競技トップアスリートの体力特性および障害の影響

車いす陸上競技は、車いす競技の中でも最もポピュラーな障害者スポーツ競技のひとつである。競技種目は短距離、中距離などのトラック競技、投てき種目などのフィールド競技、そして車いすマラソンなどのロード種目があり、各種目で障害特性に応じたクラス分けされている。脊髄損傷者の場合、トラックおよび跳躍のクラス分けは T51 から T54 に分類され、それぞれの神経機能残存レベルは C（頸椎）5-6、C7-8、T（胸椎）1-T7、T8-S（仙骨）4 で、T51 であれば肘関節新手筋群の筋力レベルなど上肢機能の低下が見られるが、T54 では上肢機能は正常で、かつ駆動時に体幹部を用いることが出来るため、クラスによって残存する運動機能レベルは大きく異なる。

脊髄損傷者は有酸素能といった身体能力が健常者と比べて大幅に低下するが、トップレベルのアスリートでは健常者を上回る程のトレーナビリティがあることが報告されている[14]。特に、車いす陸上競技選手は、障害者スポーツの中でも身体能力が高く、競技性が非常に高い。一方、障害者スポーツの場合、個々の障害特性が身体能力や競技力に与える

影響は大きく、例え、長期に渡ってトレーニングを積んでいるトップレベルの選手であっても､健常者のようにトレーナビリティが獲得できない体力項目があることが想定される。また、車いす陸上競技では、短距離から長距離まで幅広く取り組む選手も多いが、障害特性が各種目の競技力に及ぼす影響は大きい。

そこで、本年度は個々の障害特性の影響について検討するため、トップレベルの脊髄損傷の車椅子陸上競技選手を対象に有酸素能など体力関連項目を評価し、障害特性がどの程度、身体能力に影響を及ぼしているかを検討した。

対象者

対象は､身体障害者車いす陸上競技選手で 40 歳代の脊髄損傷者 3 名(身長:1.75 ± 0.04m, 体重：61 ± 3.6 kg，年齢：42 ± 2.6 years [40～45 歳]，損傷部位：Th 3～6）とした。いずれの対象者もパラリンピック出場経験があり、国内ではトップレベルの競技力を持っている。

表 4 被験者 3 名の身体特性

Subjects	Leision	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Time since injury (years)
Sub A	Th3-5	41	177	58	25
Sub B	Th6	40	178	65	25
Sub C	Th6	45	170	60	25

測定内容

測定は、身体組成評価として周径囲、体脂肪率を行った。筋力は、左右の握力、肘関節屈筋／伸展筋力を測定し、また、肺機能評価として肺活量、努力性肺活量（1 秒率)、最大努力換気量を測定した。そして、一連の測定の最後に運動負荷試験を行い、上肢運動中のピーク酸素摂取量を測定した。測定は全て 1 日で行い、2 時間ほどの十分な休息の後、運動負荷試験を全項目の一番最後に実施した。

測定方法

身体組成

周径囲は巻尺で左右の前腕、上腕の最大膨隆部を測定した。体幹部は胸部、腹部の 2 ヶ所を測定し、胸部は乳頭の直上の高さと肩甲骨下角の直下の高さを通る水平線、腹部はへその高さを通る水平線とした。また、体脂肪率は栄研式皮下脂肪計（明興社製）を用いて右上腕部背面、右肩甲骨下端の皮脂厚を計測した。上腕部は肩峰突起と肘頭の中間点の皮下脂肪を縦につまみ、肩甲骨下端は肩甲骨下角の真下 1~2 cm の位置を正中線から 45 度の角度でつまんだ。体脂肪率はこの 2 点の値から推定し、算出した。

筋力

筋力は、握力、肘関節屈筋／伸展筋力を測定した。握力は、握力計（T-2048、トーエイライト社製）で左右の握力を各 2 回測定し、最大値を左右の握力とした。肘関節屈筋／伸展筋力は、多用途筋機能評価運動装置バイオデックスシステム 4（BDX-4、BBIODEX

社製）を用いて測定した。屈筋力は肘関節を 90 度屈曲位（最大伸展位を 0 度として)、伸展筋力は 60 度屈曲位で等尺性筋収縮により測定した。被験者は、測定姿位を調節後、リラックスした状態で姿勢を保ち、そこから検者の合図に合わせて 3 秒間全力で筋力発揮をした。計 3 回ずつ測定し、各最大値を最大筋力とした。

肺機能

肺機能は電子式診断用スパイロメータ（AS507、ミナト社製）を用いて測定した。肺機能は、肺活量、努力性肺活量（1 秒率)、最大努力換気量を測定した。肺活量は最大まで息を吸い込んだ後、それを全て吐き出した際の量とし、努力性肺活量は同様に最大まで息を吸い込んだ後に、一気に吐き出した際の量を計測した。その際の最初の 1 秒間で吐き出した量を 1 秒率とした。最大努力換気量はリラックスした状態から 12 秒間、可能な限り深く速く呼吸をしてもらい、そこから 1 分間の換気量として評価した。各項目の計測時、マウスピースはしっかりと口にくわえてもらい、また、鼻から空気が抜けないようにノーズクリップで固定した。測定姿位は全て座位で行った。

運動負荷試験

上肢運動中のピーク酸素摂取量($VO_{2\ peak}$)計測のため、ポータブルエルゴメータ(818E、モナーク社製）を用いて運動負荷試験を行った。運動負荷試験中の呼気ガス計測は、生体ガス分析用質量分析装置（ARCO-2000-MET、アルコシステム社製）を用いてブレスバイブレス方式で行った。呼気ガス分析用マスクは空気が漏れないよう、しっかりと固定して装着した。被験者は固定用のマジックベルトで大腿部を車椅子の座面に固定した状態で座り、ポータブルエルゴメータの前で車椅子の車輪を前後で固定し、および背もたれの部分を支えた。エルゴメータの回転軸は被験者の肩の高さに調節した。

被験者は 5 分間のウォーミングアップ後、20W から開始し、3 分間隔で 20W ずつ負荷を上げた。回転数は 50 rpm（revolution per minute）を維持し、100W 到達後は 3 分ごとに回転数を 10rpm ずつ上げた。全体の測定時間を 20 分程度になるよう、負荷や回転数を調節した。測定中の心拍数はベッドサイドモニタ（BSM-2400 シリーズ ライフスコープⅠ、日本光電社製）を用いて計測した。また、血中乳酸濃度を計測するため、簡易血中乳酸測定器（LT-1710、アークレイ社製）を用いて、被験者の右耳たぶより血液を採取した。乳酸値の測定は医師に行ってもらい、負荷や回転数を上げる際（1～3 分ごと）に 2 度ずつ計測した。$VO_{2\ peak}$ に到達したかの基準は、$VO_{2\ peak}$ がプラトーに達したこと、主観的運動強度が 18 以上（最大で 20）になったかで判断した。

結果

体組成

肥満度の指標である BMI（body mass index）は 19.9 ± 1.2（18.5-20.7）kg/m^2、皮下脂肪計による推定体脂肪率（n = 2）は 18.2 ± 2.8 %だった。各周径囲の平均値は、右前腕 29.1 ± 0.23 cm、左前腕 29.6 ± 0.45 cm、右上腕 35.3 ± 1.9 cm、左上腕 35.3 ± 1.8 cm、胸囲 98.0 ± 6.6 cm、腹囲 80.8 ± 5.9 cm だった。腕部の周径囲はいずれの被験者も左右差がほとんどなく、A と C は上腕部で 3.5 cm の差があったが、前腕の周径囲は被験者間でほとんど差がなかった。胸囲は A と B で 13 cm、腹囲は 10 cm の差がみられた（表 5)。

表 5 各被験者の前腕、上腕、胸部、および腹部周径囲

Subjects	Forearm		Upper arm		Chest	Abdominal
	Right (cm)	Left (cm)	Right (cm)	Left (cm)	(cm)	(cm)
A	29.1	29.0	33.5	33.9	92.0	74.0
B	29.6	29.0	35.5	34.5	105.0	84.5
C	30.0	29.4	37.0	37.4	97.0	84.0

筋力

握力の平均値は右が 57.8 ± 3.3 kg、左が 55.8 ± 6.0 kg だった。また、左右差は被験者 C で 5.5 kg の差があったが、他の 2 名は差がなかった。肘関節屈筋力の平均値はそれぞれ 61.9 ± 7.8 Nm（右）、68.2 ± 4.6 Nm（左）だった。伸展筋力は右が 70.7 ± 10.9 Nm、左が 68.1 ± 9.4Nm だった。次に各被験者の特徴では、A は全被験者の中で筋力が最も高くかったが、屈筋力は左側、伸展筋力は右側が高かった。被験者 B や C も同様に、左右で筋力差が見られた（表 6）。

表 6 各被験者の握力ならびに肘関節屈筋力／伸展筋力

Subjects	Grip force		Elbow flexor force		Elbow extensor force	
	Right (kg)	Left (kg)	Right (Nm)	Left (Nm)	Right (Nm)	Left (Nm)
A	61.0	60.5	70.4	73.1	82.6	71.3
B	58.0	58.0	55.1	67.7	68.3	57.6
C	54.5	49.0	60.1	63.9	61.3	75.5

肺機能

肺活量は被験者 B が 4.59 L で%VC（対標準肺活量）も 111 %と高かったが、他の 2 名は 2.65 L と低く、%VC も 65～69%と低い値を示した。同様に努力性肺活量も被験者 B が 4.64 L だったのに対し、他の 2 人は 2.57L、3.06 L と基準値かややそれを下回る値だったが、1 秒率は 90～96 %といずれも正常の値を示した。最大努力換気量は 133.7～211.4 L /min と標準値と比していずれも高い値を示した。

運動負荷試験

ピーク酸素摂取量の平均値は 42.0 ± 5.6 ml/kg/min で、各被験者の値はそれぞれ 37.3 ml/kg/min（A）、48.2 ml/kg/min（B）、40.6 ml/kg/min（C）で B が大幅に高い値を示した。最大心拍数の平均は 183 ± 4 （179-187）bpm だった。また、血中乳酸濃度の最大値は被験者 B が 8.4 mmol/L と最大だった（表 7）。

表 7 運動負荷試験中の各ステージの血中乳酸濃度の変化（mmol/L）

Subjects	rest	20W 50rpm	40W 50rpm	60W 50rpm	80W 50rpm	100W 50rpm	100W 60rpm	100W 70rpm
A	1.4	1.1	1.3	1.7	3.3	5.1	-	-
B	1.0	1.0	1.2	1.9	2.8	3.8	5.8	8.4
C	0.8	1.7	1.9	2.3	3.0	5.6	6.1	-

考察

全被験者とも 40 歳を超えているにもかかわらず、BMI、体脂肪率、腹囲は健常者と比べても標準の値だった。しかし、健常者の陸上競技アスリートと比べると、体脂肪率はやや高い傾向にあった。一般に、脊髄損傷者は活動量の低下に加えて、筋の萎縮や筋の不活動によるエネルギー消費量の低下が見られる。これまでの報告では、長期の脊髄損傷者の66%近くが肥満や過体重であり〔53〕、脊髄損傷者は肥満や生活習慣病になるリスクが高いとされている。本研究の被験者は車いす陸上競技の国内トップレベルのアスリートであり、平均で週 6 日、1 日 3 時間程度トレーニングを行っているため、身体活動量はかなり高い。そのため、肥満の状態ではないが、健常者アスリートと比べると高めの BMI や体脂肪率であったことから、脊髄損傷者アスリートの場合、競技力が高い選手でも皮下脂肪がある程度は蓄積されている状態であるといえる。ただし、より若い脊髄損傷者アスリートではさらに低い BMI や体脂肪率である可能性もあるため、今後、幅広い年齢層をしらべる必要がある。

握力は、文部科学省「新体力テスト」の 40-44 歳の握力の平均値（47.3 kg）と比べていずれの被験者も高い値を示した。中でも被験者 A は 61.0 kg と高く、上肢を使って車いすを漕ぐ影響があると考えられる。肘関節屈筋力／伸展筋力については、各被験者ともに大きな左右差が見られた。考えられることとして、トラック競技でカーブを曲がるときなどに個々によって車いすの漕ぎ方が異なる影響が挙げられる。この左右差を均一にするようにトレーニングを行うべきか、個々の漕ぎ方の特徴を踏まえて各筋力の強化を図るべきかは検討すべき課題だが、筋力は個々の車いす走動作の特徴を表していることが考えられる。

被験者 B の肺活量は標準値に対し 111.5%と高い値を示したが、A は 65.0%、C は 68.9%と正常の範囲とされる 80% VC（対標準肺活量）を下回った。また、努力性肺活量についても同様に A と C は低い値を示したが、1 秒率においては全員が 90%以上と正常の範囲を示した。一定の時間内でどれだけの空気を換気できるかの指標である最大努力換気量はいずれの被験者も標準値と比べて高く（119-178%）、特に被験者 B は 178%とかなり高い値を示した。被験者 B は 3 人の被験者の中でもロードレースなどの長距離種目で高い競技成績を収めており、高い肺機能は種目特性を反映している。一方、被験者 A は肺活量が正常値以下だった。これは、被験者 A が受傷時に肺下部を挫傷し、肺の一部が壊死した影響によるものと考えられ、個々の障害が運動に関連する機能に影響を及ぼしていることが確認された。しかし、1 秒率は正常の範囲、最大努力換気量は標準値以上であったことから、肺の一部に障害があっても、その機能は高められることが示唆された。

運動負荷試験中の最大心拍数はいずれも高い値を示した。脊髄損傷者は損傷部位によっては、自律神経障害による最大心拍数の低下が見られる。例えば、頸髄損傷者は最大で 110 前後までしか上がらず〔10〕、胸髄、腰髄損傷者ではその影響がほとんどないとされる。本研究の被験者は胸髄の第 3-5、第 6 の損傷だったが、最大心拍数の低下は見られなかった。この最大心拍数の低下はピーク酸素摂取量の大幅な低下に繋がるため、脊髄損傷者の持久系能力を評価する上で重要な指標となる。最大心拍数が健常者とそん色ない程度にまで上昇したことは、各被験者のピーク酸素摂取量の差は個々の心肺機能の差によるものと言える。

本研究では、被験者 B はピーク酸素摂取量が 48.9 ml/kg/min と高い値を示した。これは、過去の研究の報告と比べても高い値であり、国内のトップアスリートの有酸素能力は

十分高いことが確かめられた。一方、被験者 A は 37.3 ml/kg/min と決して低くはないが、今回の被験者の中では最も低かった。これは日々のトレーニング内容の違いによる影響など様々な要因が考えられるが、肺の一部の障害の影響も考えられることから、個々の運動機能を評価する場合は、その障害特性も踏まえて評価したほうがいい。

血中乳酸濃度は、持久的能力を評価する指標であり、$VO_{2\ peak}$ と高い相関があることが知られている〔14〕。また、最大下で評価ができるため $VO_{2\ peak}$ よりも持久的能力を評価するのに適しているともいわれている〔14〕。運動負荷試験中の血中乳酸濃度は漸増的に増えていき、乳酸閾値を境にその上昇率は高くなる。乳酸閾値は多くの研究で 4 mmol/L と定義されており、この閾値は乳酸の蓄積がない状態での有酸素能に由来するエネルギーの最大量を示すものとされており、この閾値がより運動の後半にシフトするほど疲労が少ない状態で、高い運動強度の運動が持続できることを意味する。被験者 A と C は負荷 100W、回転数 50 rpm のとき乳酸閾値を超えたのに対し、被験者 B は 100W、60 rpm のときそれを上回った。また最大乳酸値も 8.4 mmol/L と高く、被験者 B は持久系能力に長けているといえ、有酸素能が種目特性を反映していることが示された。

まとめ

本年度の研究成果を通して，脊髄損傷者の障害特性および、脊髄損傷者アスリートの有酸素能力が障害特性や競技特性によってその特徴が異なることを文献調査によってまとめた。また、車いす陸上競技の国内トップレベルのアスリートを対象に個々の身体組成や体力関連項目が種目特性や障害特性によってどのような影響を受けるのかを検証し、障害特性の影響や種目特性による体力の違いが明らかになった。このように、長期に渡りトレーニングに励み、かつトップレベルの競技パフォーマンスを発揮するトップアスリートでさえもその体力には個人差があり、障害者スポーツでは、これら個々の障害特性や種目特性を踏まえてトレーニング法を考慮したりする必要性があることが示唆された。今後はさらに被験者数を増やし、他の競技も同様の測定を行ない比較する必要がある。

引用文献

1. 矢部京之助.“アダプテッドスポーツの由来”. 日本アダプテッド体育・スポーツ学会（JASAPE）. 2011-7-10. http://www.adapted-sp.net/yan-jiu-qing-bao/adaputeddo-supotsuno-you-lai (参照 2014-06-10).
2. Silver JR (2012) Ludwig Guttmann (1899-1980), Stoke Mandeville Hospital and the Paralympic Games. *J Med Biogr*. 20:101-105.
3. Buzzard EF (1919) Memoranda: swimming in the treatment of paralysis. *Br Med J*. 1:610.
4. Silver JR (2011) Karl Gebhardt (1897-1948): a lost man. *J R Coll Physicians Edinb*. 41:366-371.
5. Silver JR and Weiner M-F (2012) George Riddoch: the man who found Ludwig Guttmann. *Spinal Cord*. 50:88-93.
6. Stahnisch FW and Tvnedal JD (2012) Sir Ludwig Guttmann (1899-1980). *J*

Neurol. 259:1512-1514.
7. Frankel HL (2012) The Sir Ludwig Guttmann Lecture 2012: the contribution of Stoke Mandeville Hospital to spinal cord injuries. *Spinal Cord* 50:790-796.
8. 公益財団法人日本障がい者スポーツ協会, 日本パラリンピック委員会. “パラリンピックの歴史”. パラリンピック Special Site. http://www.jsad.or.jp/paralympic/what/history.html (参照 2014-06-15).
9. Price M (2010) Energy expenditure and metabolism during exercise in persons with a spinal cord injury. *Sports Med*. 40:681-696.
10. 田島文博 (2005) 自律神経障害. *NPO 法人日本せきずい基金 脊損ヘルスケア：基礎編 第 4 章*. pp. 43-56.
11. National Spinal Cord Injury Statistical Center (2013) Spinal cord injury facts and figures at a glance. *J Spinal Cord Med*. 36:568-569.
12. Schmid A, Huonker M, Barturen JM, Stahi F, Schmidt-Trucksäss A, König D, Grathwohl D, Lehimann M, Keul J (1998) Catecholamines, heart rate, and oxygen uptake during exercise in persons. *J Appl Physiol* 85: 635-641.
13. Schmid A, Huonker M, Stahl F, Barturen JM, König D, Heim M, Lehmann M, Keul J (1998) Free plasma catecholamines in spinal cord injured persons with different injury levels at rest and during exercise. *J Auton Nerv Syst* 19:68 (1-2):96-100.
14. Bhambhani Y (2002) Physiology of wheelchair racing in athletes with spinal cord injury. *Sports Med* 32:23-51.
15. Liusuwan A, Widman L, Abresch RT, McDonald CM (2004) Altered body composition affects resting energy expenditure and interpretation of body mass index in children with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 27 Suppl 1:S24-8.
16. Schneider DA, Sedlock DA, Gass E, Gass G (1999) VO2peak and the gas-exchange anaerobic threshold during incremental arm cranking in able-bodied and paraplegic men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 80: 292-7.
17. Mollinger LA, Spurr GB, el Ghatit AZ, Barboriak JJ, Rooney CB, Davidoff DD, Bongard RD (1985) Daily energy expenditure and basal metabolic rates of patients with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1985; 66 (7): 420-6.
18. Sawka MN (1986) Physiology of upper body exercise. *Exer Sports Sci Rev* 14:175-211.
19. Figoni SF (1993) Exercise responses and quadriplegia.*Med Sci Sports Exerc* 25:433-41.
20. Van Loan MD, McCluer S, Loftin JM, Boileau RA (1987) Comparison of physiological responses to maximal arm cranking exercise among able-bodied, paraplegics, and quadriplegics. *Paraplegia* 25:397-405.

21. Eriksson P, Lofstrom L, Ekblom B (1998) Aerobic power duringmaximal exercise in untrained and well-trained persons with quadriplegia and paraplegia. *Scand J Rehabil Med* 1988; 20:141-7.
22. Schmid A, Huonker M, Stober P, Barturen JM, Schmidt-Trucksäss A, Dürr H, Völpel HJ, Keul J (1998) Physical performance and cardiovascular and metabolic adaptation of elite female wheelchair basketball players in wheelchair ergometry and in competition. *Am J Phys Med Rehabil* 77:527-33.
23. Janssen TW, Van-Oers C, Hollander AP, Veeger HE, van der Woude LH (1993) Isometric strength, sprint power, and aerobic power in individuals with spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc* 25:863-70.
24. Veeger H, Hadj Yahmed M, van der Woude LH, Charpentier P (1991) Peak oxygen uptake and maximal power output of Olympic wheelchair dependent athletes. *Med Sci Sports Exerc* 23:1201-9.
25. Gass GC, Camp EM (1987) Effects of prolonged exercise in highly trained traumatic paraplegic men. *J Appl Physiol* 63:1846-52.
26. Yasuda N, Gaskill SE, Ruby BC (2008) No gender-specific differences in mechanical efficiency during arm or leg exercise relative to ventilator threshold. *Scand J Med Sci Sports* 18:205-212.
27. Yamasaki M, Komura T, Tahara Y, Muraki S, Tsunawake N, Ehara Y Fujie K (1998) Relationship between physical characteristics and physiological responses during maximal arm cranking in paraplegics. *Spinal Cord* 36:579-583.
28. Vinet A, Le Gallais D, Bernard PL, Poulain M, Varray A, Mercier J, Micallef JP (1997) Aerobic metabolism and cardioventilatory responses in paraplegic athletes during an incremental wheelchair exercise (1997) *Eur J Appl Physiol* 76:455-461.
29. Veeger HEJ, Yahmed MH, van der Woude LHV, Charpentier P (1991) Peak oxygen uptake and maximal power output of Olympic wheelchair-dependent athletes. *Med Sci Sports Exerc* 23:1201-1209.
30. Bernardi M, Carucci S, Faiola F, Egidi F, Marini C, Castellano V, Farina M (2012) Physical fitness evaluation of Paralympic winter sports sitting athletes. *Clin J Sports Med* 22:26-30.
31. Valent LJM, Dallmeijer AJ, Houdijk H, Slootman HJ, Janssen TW, Post MWM, van der Woude LH (2009) Effects of hand cycle training on physical capacity in individuals with tetraplegia: A clinical trial. *Phys Ther* 89:1051-1060.
32. Haisma JA, Bussmann JB, Stam HJ, Sluis TA, Bergen MP, Dallmeijer AJ, de Groot S, van der Woude LH (2006) Changes in physical capacity during and after inpatient rehabilitation in subjects with a spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 87:741-748.
33. Bhambhani Y, Holland LJ, Eriksson P, Steadward RD (1994) Physiological

responses during wheelchair racing in quadriplegics and paraplegics. *Paraplegia* 32:253-260.

34. Bhambhani Y, BurnhamR,Wheeler G, Eriksson P, Holland LJ, Steadward RD (1995) Ventilatory threshold during wheelchair exercise in untrained and endurance-trained subjects with quadriplegia. *Adapt Phys Activity Q* 12: 333-343.
35. Janssen TWJ, van Oers CAJM, Veeger HEJ, Hollander AP, van der Woude LHV, Rozendal RH (1994) Relationship between physical strain during standardized ADL tasks and physical capacity in men with spinal cord injuries. *Paraplegia* 32:844-859.
36. Barfield JP, Malone LA, Arbo C, Jung AP (2010) Exercise intensity during wheelchair rugby training. *J Sports Sci* 28:389-398.
37. Campbell AG, Williams C, Lakomy HKA (1997) Physiological responses of wheelchair athletes at percentages of top speed. *Br J Sports Med* 31:36-40.
38. Ready AE (1984) Responses of quadriplegic athletes to maximal and submaximal exercise. *Physiother Can* 36:124-128.
39. West CR, Romer LM, Krassioukov A (2013) Autonomic function and exercise performance in elite athletes with cervical spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc* 45:261-267.
40. Tahamont M, Knowlton RG, Sawka MN, Miles DS (1986) Metabolic responses of women to exercise attributable to long term use of a manual wheelchair. *Paraplegia* 24:311-317.
41. Schneider DA, Sedlock DA, Gass E, Gass G (1999) VO_{2peak} and the gas-exchange anaerobic threshold during incremental arm cranking in able-bodied and paraplegic men. *Eur J Appl Physiol* 80:292-297.
42. Okuma H, Ogata H, Hatada K (1989) Transition of physical fitness in wheelchair marathon competitors over several years. *Paraplegia* 27:237-243.
43. Mossberg K, Willman C, Topor MA, Crook H, Patak S (1999) Comparison of asynchronous versus synchronous arm crank ergometry. *Spinal Cord* 37:569-574.
44. Raymond J, Davis GM, Climstein M, Sutton JR (1999) Cardiorespiratory responses to arm cranking and electrical stimulation leg cycling in people with paraplegia. *Med Sci Sports Exerc* 31:822-828.
45. Knechtle B, Müller G, Willmann F, Eser P, Knecht H (2004) Fat oxidation at different intensities in wheelchair racing. *Spinal Cord* 42:24-28.
46. Tolfrey K, Goosey-Tolfrey VL, Campbell IG (2001) Oxygen uptake-heart rate relationship in élite wheelchair racers. *Eur J Appl Physiol* 86:174-178.
47. Rotstein A, Sagiv M, Ben-Sira D, Werber G, Hutzler J, Annenburg H (1994) Aerobic capacity and anaerobic threshold of wheelchair bascketball players. *Paraplegia* 32:196-201.

48. Price DT, Davidoff R, Balady GJ (2000) Comparison of cardiovascular adaptations to long-term arm and leg exercise in wheelchair athletes versus long-distance runners. *Am J Cardiol* 85:996-1001.
49. Cooper RA, Horvath SM, Bedi JF, Drechsler-Parks DM, Williams RE (1992) Maximal exercise response of paraplegic wheelchair road racers. *Paraplegia* 30:573-581.
50. Hooker SP, Wells CL (1992) Aerobic power of competitive paraplegic road racers. *Paraplegia* 30: 428-446.
51. Veeger HE, Hadj Yahmed M, van der Woude LH, Charpentier P (1991) Peak oxygen uptake and maximal power output of Olympic wheelchair dependent athletes. *Med Sci Sports Exerc* 23:1201-1209.
52. Vinet A, Bernard PL, Poulain M, Varray A, Le Gallais D, Micallef JP (1996) Validation of an incremental field test for the direct assessment of peak oxygen uptake in wheelchair-dependent athletes. *Spinal Cord* 34:288-293.
53. Rajan S, McNeely MJ, Warms C, Goldstein B (2008) Clinical Assessment and Management of Obesity in Individuals With Spinal Cord Injury: A Review. *J Spinal Cord Med* 31:361-372.

平成２５年度　障害者対策総合研究推進事業
（身体・知的等障害分野）

平成２６年３月　発行

発　行　　公益財団法人　日本障害者リハビリテーション協会
〒162-0052　東京都新宿区戸山１丁目 22 番１号
（戸山サンライズ内）
電　話　　(03) 5273-0601
ＦＡＸ　　(03) 5273-1523

印　刷　　株式会社　教文堂