

厚生労働科学研究費補助金  
障害保健福祉総合研究事業

脊髄損傷後の身体機能低下を抑止する  
立位トレーニング方法の開発

平成16年度～18年度 総合研究報告書

主任研究者 中澤 公孝

平成19(2007)年4月

## 目 次

### I. 総合研究報告

脊髄損傷後の身体機能低下を抑止する立位トレーニング方法の開発----- 1

中澤 公孝

II. 研究成果の刊行に関する一覧表----- 6

III. 研究成果の刊行物・別刷----- 8

脊髄損傷後の身体機能低下を抑止する立位トレーニング方法の開発

主任研究者 中澤 公孝 国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所室長

研究要旨

本研究は脊髄損傷後の麻痺領域の機能低下抑止と二次障害の発現リスク減少の観点から、麻痺領域の筋活動を誘発し、ひいては全身の代謝・循環動態を賦括する新たな立位トレーニング方法を提案することを最終目的とする。本研究では脊髄損傷者に対する新しい立位式トレーニングの特性を上記観点から明らかにすると共に、中長期的なトレーニングが脊髄損傷後の身体機能の適応的変化を促すのか否かを運動・神経生理学的手法を用いて定量化するものである。

A. 研究目的

脊髄損傷に伴う運動機能障害は多くの場合、立位歩行からの隔離をもたらし、日常生活における活動量を著しく低下させる。慢性的な運動量減少は生活習慣病の発現リスクを増加させ、さらに麻痺領域の不活動は二次障害発現の誘因となる。本研究は立位歩行運動のリハビリテーション効果を最大限に得ることを主眼として立位姿勢下での“歩行様運動”の運動・神経生理学的特性を探求し、麻痺領域の機能低下と二次障害発現リスクの減少に貢献する神経性、代謝性因子を整理する。具体的には、麻痺領域を含む立位姿勢保持下での脚交互運動によって、麻痺領域の運動・神経機能を賦活する機序を解明し、さらに中長期的な立位トレーニングの実施による麻痺領域の機能変化を定量的に把握することを目的とした。

B. 研究方法

全期間を通しての目標は、①立位姿勢下での下肢交互運動によって麻痺領域に筋活動を誘発する神経機序を解明すること、②反射性筋活動が組織の酸素動態を変調しえるのか否かを明らかにすること、③中長期的な立位運動が脊髄損傷後の身体機能の適応的変化を促すのか否か明らかにすること、④日常的に立位・歩行トレーニングを行うための補助犬の利用可能性を明らかにすることである。

本研究では前期に上記目標①、②に関する実験、および④に関する調査研究を行い、既知の立位歩行訓練の効果に新たな知見を加えるための基礎的資料を得ることを目指す。後期には立位歩行様運動による3ヶ月のトレーニングを脊髄損傷者を対象として実施し、前期に検討された下肢麻痺筋活動、酸素動態の変化を中心に、トレーニング経過に伴う身体機能の変化について運動・神経生理学的観点から多面的かつ定量的に検討することとした。

C. 研究結果

平成16年度は、①立位姿勢下での下肢交互運動によって麻痺領域に筋活動を誘発する神経機序を解明すること、②反射性筋活動が組織の酸素動態を変調しえるのか否かを明らかにすること、③脊髄損傷者が介助犬を使用する際の障害レベルと実際の介助動作項目、飼育動作項目を整理し、訓練された犬と健常者を使って介助動作、飼育動作のシュミレーションを行い、機能障害別に適応と方法を明確にすること、を目

標とした。その結果、①麻痺領域に誘発される筋活動は対側肢からの感覚入力に大きく影響されることが明らかとなると共に、②誘発された筋活動は組織の酸素動態を有意に変調し得ることも明らかとなった。これらの結果は、立位姿勢下での下肢受動運動が脊髄の神経回路を賦括すると共に、組織の酸素動態を変調し、血流を促進する効果があることを示唆するものであった。

③の介助犬の飼育管理動作については脊髄損傷の障害レベルにより不可能なものが多く、それらを行う為の工夫や工学的な開発も必要であり、しかも犬に対する介助動作の訓練では、体高や健全性など犬側の条件も検討する必要があることがわかった。介助犬の利用可能性について具体的な課題を見出すことができた。

平成17年度は、立位姿勢下での下肢交互運動によって麻痺領域に筋活動を誘発する神経機序に関わる実験を中心に行った（図1参照）。

実験A：受動的運動中の歩行様筋活動

受動的運動中には麻痺下肢筋群に運動周期に同調した活動が発現した。頸髄損傷者では、不全損傷者7名全員にヒラメ筋に活動を認め、大腿二頭筋は6名、前脛骨筋は4名に活動が認められた。一方、大腿直筋には1名の被験者のみしか活動を認めなかった。頸髄完全損傷者では2名のうち1名において、微小な活動ではあるが下肢受動的運動を課すことによってヒラメ筋、大腿二頭筋に歩行様筋活動が発現した。また、前章で観察したように、高位中枢から麻痺領域への神経性結合が完全に遮断されている胸髄完全損傷者であっても頸髄損傷者と同様に、ヒラメ筋、大腿二頭筋に歩行様筋活動が発現した。

実験B：上肢運動印加による歩行様筋活動の変化

図2にrest, passive, active条件間の筋活動の差異を示す。いずれの波形も運動15周期の加算平均波形である。最上段の頸髄不全損傷者では、上肢運動の印加によって、下肢の歩行様筋活動が顕著に増加していることが見て取れる。一方、中段に示した他の頸髄損傷者では、上肢運動の印加に伴ってヒラメ筋の活動位相（継続時間）が顕著に減少する結果を認めた。これら2名の被験者の例から分かるように、頸髄不全損傷者では上肢運動印加による歩行様筋活動の増減傾向は一定ではない。一方、下段に

示した胸髄完全損傷者では、上肢運動の有無に依らず下肢の歩行様筋活動は同一であった。胸髄完全損傷者では上肢と下肢間の神経結合が完全に遮断されていることを考え合わせると、この結果は極めて妥当であり、同時に頸髄不全損傷者では上肢運動に伴う求心性神経情報が、下肢の歩行様筋活動に何らかの作用を及ぼしたことを示す重要な証拠となる。

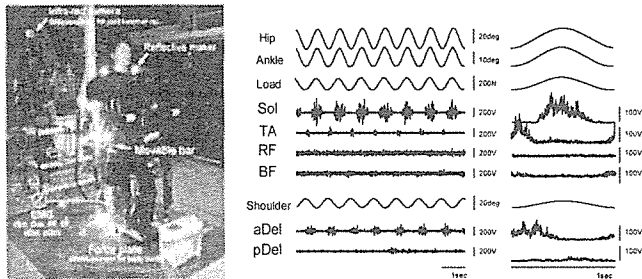
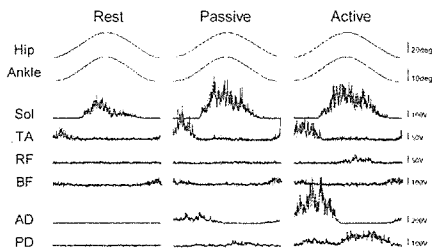
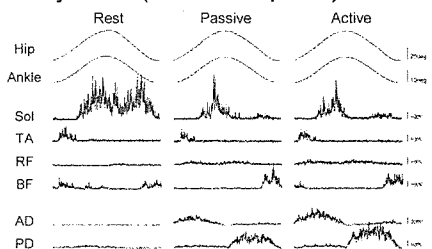


図1 実験の概要。写真のように、立位訓練装置を用いて被験者に受動的立位を取らせ、験者がレバーを操作することにより、下肢を受動的に動作させる。図中の波形のように動作中は股関節および足関節は周期的に屈曲-伸展動作を繰り返し、動作に伴って複数の麻痺下肢筋群に周期的な筋活動が発現する。

Subj. T.T (C3 Incomplete)



Subj. O.O (C4 Incomplete)



Subj. M.H (Th12 Complete)

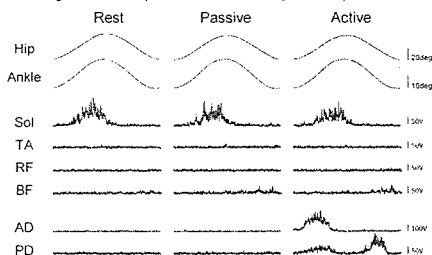


図2 各条件における股関節、足関節角度変位、麻痺下肢筋活動の比較。脊髄不全損傷者では上肢運動の印加によって下肢の歩行様筋活動に変化が認められたが、脊髄完全損傷者では変化は認められなかった。

最終年度は、1) 脊髄損傷者における受動的歩行様運動中の呼吸循環応答に関する実験（実験A）と、2) トレーニング機を用いた歩行様運動トレーニングに対する脊損者の身体適応に関する実験（実験B）、の2種類の実験を行った。

実験A：被験者は脊髄損傷者8名であった。図3に示したように実験者がトレーニング機のレバーを周期的に動かすことで、被験者の下肢を交互にスウィングさせた。その際、膝関節は固定、足関節はフットプレート上で可動とした。呼吸循環系変量の測定を、5分間の静止座位と3分間の静止立位、15分間の受動運動、および運動後3分間の静止立位のそれぞれの期間中に行った。計測した呼吸系変量は毎分換気量 (VE) と酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>)、循環系変量は心拍数 (HR) と平均血圧 (MBP) であった。

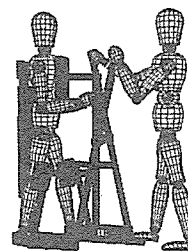


図3 実験に用いた装置の概要

実験Aの結果、全ての呼吸循環系変量は、座位から立位へ移行すると有意な増加を示した。運動開始後、VEとVO<sub>2</sub>は静止立位時のレベルを維持した。HRは、運動3分目には静止座位のレベルに戻った。MBPは、運動により安静立位時のレベルよりも高くなり、この高値を運動終了まで維持した。以上の結果から、立位歩行様運動の効果は、立位姿勢効果と運動効果の2つに区分でき、運動効果は血圧に顕著に現れると考えられた。

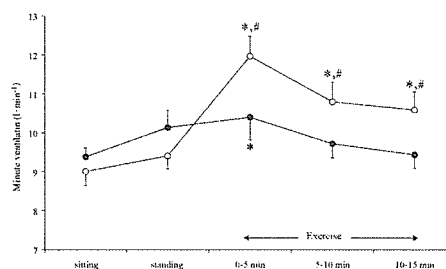


図4 受動運動中の換気量の変化 白丸：健常者、黒丸：脊髄損傷者

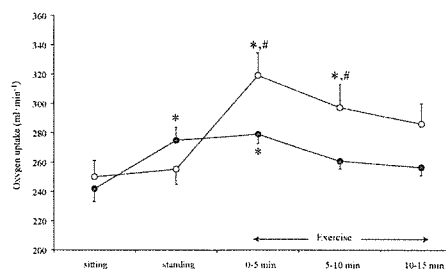


図5 受動運動中の酸素摂取量の変化

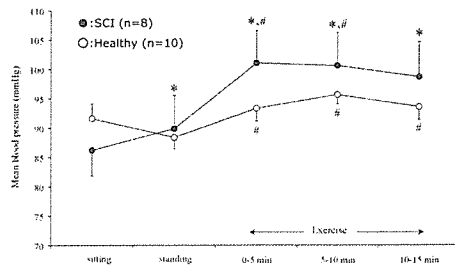


図6 受動運動中の平均血圧の変化

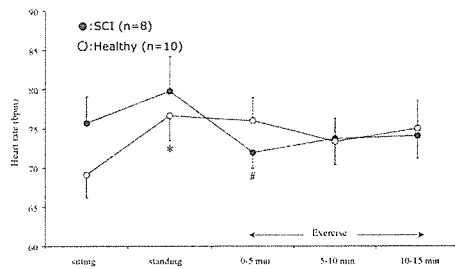


図7 受動運動中の心拍数の変化

実験B：被検者は外傷性脊髄損傷者7名であった。そのうち3名は立位式トレーニング機を用いた立位でのトレーニングを一回20~40分、週2回から4回行った。残りの4名は動力型歩行トレーニング機を用いた歩行トレーニングを週1回から3回行った。トレーニング期間は10週間から16週間であった。トレーニング前後に血液検査を行い血中脂質、コレステロール、NK活性、骨代謝マーカーなどの項目を比較した。

立位式トレーニング機を用いたトレーニングに参加した3名の被検者の検査結果を表1に示した。

すべての被検者で3ヵ月のトレーニング後に体重の減少、ウエスト周囲径の減少が認められた。さらに腹腔内脂肪面積も全員で減少、中性脂肪が3名中2名で減少していたことから、体脂肪が総じて減少したものと考えられた。またコレステロールも3名中2名でLDLの減少とHDLの増加という正の効果が観察された。

表1 立位式トレーニング前後の検査項目の変化

	Subj. A		Subj. B		Subj. C	
	前	後	前	後	前	後
年齢	55		65		35	
性別	f		f		m	
トレーニング	前	後	前	後	前	後
身長	154	154	163	163	173	173
体重	60.4	<b>56.0</b>	62.3	<b>60.9</b>	82.0	<b>78.3</b>
ウエスト周囲径	86.0	<b>82.5</b>	96.0	<b>86.0</b>	93.0	<b>91.0</b>
BMI	25.5	<b>23.6</b>	23.4	<b>22.9</b>	27.4	<b>26.2</b>
腹腔内脂肪面積	132.8	<b>96.7</b>	163.8	<b>157.5</b>	110.9	<b>98.1</b>
総コレステロール	288.0	<b>327.0</b>	229.0	<b>219.0</b>	261.0	<b>241.0</b>
HDL	39.0	<b>45.0</b>	52.0	<b>53.0</b>	61.0	<b>66.0</b>
LDL	195.0	<b>269.0</b>	129.0	<b>125.0</b>	184.0	<b>170.0</b>
動脈硬化指数	6.4	<b>6.3</b>	3.4	<b>3.1</b>	3.3	<b>2.7</b>
中性脂肪	342.0	<b>192.0</b>	189.0	<b>241.0</b>	120.0	<b>89.0</b>

動力型歩行トレーニング機を用いた歩行トレーニングに参加した4名の脊髄損傷者の血液性状検査結果を表2に示した。立位式トレーニング機の被検者と共通の検査項目であるコレステロールの変化を見ると、歩行トレーニングの被検者にはほとんど正の効果が見られなかった。免疫系の指標であるNK活性や骨代謝の指標である骨形成および骨吸収マーカーにも正の効果は観察されなかった。

#### D. 考察

本研究を構成する大きな柱は、①立位姿勢下での下肢交互運動によって麻痺領域に筋活動を誘発する神経機序に関する研究、②反射性筋活動が組織の酸素動態を変調しえるのか否かに関する研究、および③中長期的な立位運動による脊髄損傷後の身体機能の適応的变化に関する研究の3つにまとめることができる。それぞれについて以下に考察してみる。

##### ① 立位姿勢下での下肢交互運動によって麻痺領域に筋活動を誘発する神経機序

従来の研究から、脊髄完全損傷者であっても受動的なステップを行うと、下肢の麻痺領域にステップと同調した筋活動が出現することが知られていた。今回用いた装置は膝関節が伸展位で固定され、主として股関節の屈曲・伸展のみの運動であったが、受動的なステップ時同様、麻痺領域に運動周期に同期した筋活動が誘発された。この事実は、受動的な運動によって喚起された末梢感覚受容器からの情報が脊髄以下の何らかの反射回路を介して運動ニューロンを発火させ、最終的に運動出力となって発現したことを意味する。下肢麻痺領域への運動出力の誘発には、荷重に関連する体性感覚情報と股関節周囲組織からの体性感覚情報がともに重要であることが知られている。本研究で用いた装置での運動は立位で下肢に荷重が加わった状態での股関節屈曲伸展運動であり、前記した体性感覚情報を喚起すると考えられる。したがって、それらの体性感覚情報が麻痺領域の筋活動を誘発した主要な脊髄への入力と考えることができるであろう。しかしながら、それら体性感覚入力によって反射的に運動出力を発現さ

せる神経回路がどのような結合を有するのかわかり、本研究事業の前半では、この問題に接近するための実験を行った。

具体的には本事業の第一年度では左右下肢の交叉性脊髄神経回路の存在と、上肢と下肢を結

髄損傷の二次障害予防には十分ではなく、上肢の運動を加えるなどして、さらに運動強度を上げることが必要となる。

表2 受動歩行トレーニング前後の検査項目の変化

			Subj. D		Subj. E		Subj. F		Subj. G	
			前	後	前	後	前	後	前	後
NK活性 E/T比	10:1	8.9~29.5	2.6	3	3.6	4.2	4.7	3.2	22.6	6.7
	20:1	17.1~48.7	5.5	6	7.7	9.1	9.8	5.6	31.2	13.5
骨形成マーカー	オステオカリン ng/ml	3.1~12.7	5	5.1	8.7	7.3	8.7	6.7	5.5	11.3
	骨型ALP $\mu$ g/l	9.6~35.4	15.7	7.7	15.3	12.6	8.9	8.2	35.8	27.4
骨吸収マーカー	NTX濃度 nMBOE		254.8	430.1	171.3	685.8	191	537.1	1830.5	3131.2
	NTX/CR		43.6	35.7	55.3	42.6	52.6	61.9	96.2	97.5
総コレステロール	mg/dl	150~219	125	150	196	190	203	193	144	165
HDL	mg/dl	40~90	32	30	34	32	71	80	38	47
LDL	mg/dl	70~139	86	85	141	144	114	99	92	107
中性脂肪	TG mg/dl	50~149	175	243	142	126	73	89	119	56
総脂質	T-Li mg/dl	350~800	528	656	628	595	608	605	495	472
リン脂質	P-Li mg/dl	150~250	165	188	192	184	230	226	160	168
アディポネクチン	$\mu$ g/ml		7.1	5	9	6.8	9.1	15.3	5	6.2

ぶ回路の存在の有無を明らかにするための実験を行った。その結果、対側下肢の受動運動は同側の出力を増大しており、対側からの入力が増進性に影響することが明らかとなった。さらに上肢・下肢間の結合に関し、頸髄不全損傷者では上肢運動を下肢の受動運動に付加すると、下肢麻痺領域への運動出力が変化した。一方、胸髄完全損傷者では、上肢運動の有無に依らず下肢の運動出力は不変であった。胸髄完全損傷者では上肢と下肢間の脊髄固有神経回路が完全に遮断されていることとこの結果は矛盾しなかった。すなわち、下肢受動運動に反応して運動出力を出現させる脊髄神経回路は上肢と下肢の運動ニューロンを結合する神経回路を含むことが示唆された。

次に反射性筋活動が組織の酸素動態を変調しえるのか否かに関して、立位での下肢受動運動中に麻痺筋の酸素代謝、血流量の亢進の有無を、近赤外分光法を用いて調べた。脊髄損傷者では、麻痺下肢の筋活動の発現に伴って、麻痺筋への血流供給の増加を示す酸素化ヘモグロビンの顕著な増加が認められた。この結果は、受動的動作によって当該筋の反射性筋活動が発現し、これに伴って循環亢進が生じる可能性を示唆するものであった。

最後に、中長期的な立位運動による脊髄損傷後の身体機能の適応的变化に関しては実際にトレーニングを行いその効果を検証した。

その結果、総じて立位式トレーニングでは体脂肪の減少などのトレーニング効果が認められたのに対し、歩行トレーニングには検査した血液性状にトレーニングの効果は認められなかった。立位式トレーニングでは腕の運動など下肢の受動運動に加えて多くの筋活動が動員される。これに対し、動力型歩行トレーニングを用いた歩行トレーニングは下肢以外の運動は腕振り程度であって、運動強度的にはかなり低いものと考えられる。そのため、上記の血液検査項目に正の効果をもたらすほどの運動効果が得られなかったと推察される。したがって、立位での下肢の受動運動だけでは、脊

## E. 結論

### 1. 論文発表

- 中澤公孝、河島則天、岩谷 力、立位歩行訓練による損傷脊髄機能最大化の試み、脊椎脊髄ジャーナル、17 (11)、1035-1041、2004
- 河島則天、中澤公孝、岩谷 力、脊髄損傷者の健康維持・増進のための立位歩行訓練、脊椎脊髄ジャーナル、17 (11)、1043-1050、2004
- 中澤公孝、歩行装具を利用した歩行トレーニングの可能性、日本義肢装具学会誌21-3、125-130、2005
- 中澤公孝、歩行の中核とCPG、老年医学43-1、93-98、2005
- 中澤公孝、歩行困難者への工学的支援、ウォーキング研究10、31-35、2006
- Kawashima K, Nakazawa K, Ishii N, Akai M, Yano H. Potential impact of orthotic gait exercise on natural killer cell activities in thoracic level of spinal cord injured patients. Spinal Cord 42(7):420-4, 2004
- Nakazawa K., Kawashima N, Kakihana W, Akai M, Yano H. Induction of locomotor-like EMG activity in paraplegic persons by orthotic gait training. Exp Brain Res 157(1):117-123, 2004.
- Kawashima N., Nozaki D., Abe OM., Nakazawa K., and Akai M. Alternative leg movements contribute to amplify locomotor-like muscle activity in spinal cord injured patients. J Neurophysiol 93: 777-785, 2005.
- Kawashima, N., Nakazawa, K., Akai, M. "Muscle oxygenation of the paralyzed lower limb in spinal cord injured persons". Medicine and science in sports and exercise, 37, 2005, p. 915- 921.
- Higuchi, Y., Kitamura, S., Kawashima, N., Nakazawa, K., Iwaya, T., Yamasaki, M. Cardiorespiratory responses during passive walking-like exe

rise in quadriplegics. Spinal Cord 44(8):480-486, 2006

- Kawashima N, Taguchi D, Nakazawa K, and Akai M. Effect of lesion level on the orthotic gait performance in individuals with spinal cord injuries. Spinal Cord 44(8):487-494, 2006
- 2. 学会発表
- 中澤公孝、対麻痺者の二次障害予防における立位運動の効果、日本体育学会第56回大会、2005.11.23-26、筑波
- 中澤公孝、脊髄歩行パターン発生機構と脊損者の新しい歩行トレーニング、第6回アカンサスセミナー、2005.12.24、名古屋
- 河島則天、鈴木里江、大塚博、中澤公孝、太田裕治 運動機能障害者の二次障害を予防する在宅リハビリテーション支援装置の開発 第3回生活支援工学系学会連合大会、三重、2005.12
- Kawashima N., Nozaki D., Abe M., Akai M., and Nakazawa K. Effects of upper limb motion on locomotive motor outputs in persons with spinal cord injuries 35th Annual meeting of Society for Neuroscience 2005
- 中澤公孝、移動型受動歩行訓練機の開発、第45回日本生体医工学会、2006.5.16、福岡
- 中澤公孝、受動歩行中の皮質脊髄路の興奮性、生体医工学会専門別研究会“脊髄損傷のME”2006.5.18、岡山
- 中澤公孝、上林清孝、尾方寿好、赤居正美、

ロボット型歩行訓練機を用いた受動歩行の効果-神経系、呼吸循環系に対する効果-、福祉工学シンポジウム2006、2006.9.13、柏

- 中澤公孝、脊損者の最新歩行リハビリテーション-理論と実際-、在宅リハビリテーション研究会レッツ講演会、2006.5.13、所沢
- 中澤公孝、赤居正美、移動型歩行訓練装置-その神経生理学的背景-、日本リハビリテーション医学会、2006.6.1、東京
- 中澤公孝、歩行困難者への工学的支援、第10回記念日本ウオ-キング学会シンポジウム“最近10年間に見られるウオ-キング研究の進歩”、2006.6.24、東京
- 中澤公孝、脊髄歩行パターン発生機構と脊損者の新しい歩行トレーニング、東海リハ工学研究会、2006.11.17、名古屋
- 中澤公孝、シンポジウム“歩行と姿勢制御の神経機構はどこまでわかったか”、受動歩行中の皮質脊髄路興奮性、第36回日本臨床神経生理学学会、2006.11.29、横浜

F. 知的財産権の出願・登録状況  
(予定を含む。)

1. 特許取得  
特になし
2. 実用新案登録  
特になし
3. その他

# 研究成果の刊行物



研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
中澤公孝	第8部 歩行に関する研究の現状と今後	二瓶隆一、木村哲彦、牛山武久、陶山哲夫、飛松好子編著	頸髄損傷のリハビリテーション 改訂第2版	協同医書出版	東京	2006	pp. 347-349
中澤公孝	11. 障害者のスポーツ参加	川西正志、野川春夫編著	生涯スポーツ実践論、改訂2版	市村出版	東京	2006	p. 159-165

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
中澤公孝, 河島則天, 岩谷力.	立位歩行訓練による損傷脊髄機能最大化の試み	脊椎脊髄ジャーナル	17 (11)	p. 1035-1041	2004
河島則天, 中澤公孝, 岩谷力	脊髄損傷者の健康維持・増進のための立位歩行訓練	脊椎脊髄ジャーナル	17 (11)	p. 1043-1050.	2004
Kawashima K, Nakazawa K, Ishii N, Akai M, Yano H	Potential impact of orthotic gait exercise on natural killer cell activities in thoracic level of spinal cord-injured patients	Spinal Cord	42	p. 420-424	2004
Kawashima N., Nozaki D., Abe OM., Nakazawa K., Akai M. :	Alternative leg movements contribute to amplify locomotor-like muscle activity in spinal cord injured patients.	J Neurophysiol	93	p.777-785.	2005

Nakazawa K, K kihana W, Kawa shima N, Akai M, Yano H.	Induction of loco tor-like EMG activi ty in paraplegic pe rsons by orthotic g ait training	Experimenta l Brain Res earch	157	p. 117-12 3	2004
中澤公孝	歩行装具を利用した 歩行トレーニングの 可能性	日本義肢装 具学会誌	21-3	125-130	2005
中澤公孝	歩行の中樞とCPG	老年医学	43-1	93-98	2005
Kawashima, N., Nakazawa, K., Akai, M.	Muscle oxygenation of the paralyzed lo wer limb in spinal cord injured person s	Medicine an d science i n sports an d exercise	37	915- 921	2005
中澤公孝	歩行困難者への工学 的支援	ウォーキング 研究	10	31-35、	2006
Higuchi, Y., K itamura, S., K awashima, N., Nakazawa, K., Iwaya, T., Yam asaki, M.	Cardiorespiratory r esponses during pas sive walking-like e xercise in quadripl egics.	Spinal Cord	44 (8)	480-486	2006
Kawashima N, T aguchi D, Naka zawa K, and Ak ai M.	Effect of lesion le vel on the orthotic gait performance i n individuals with spinal cord injurie s.	Spinal Cord	44 (8)	487-494	2006

# 頸髄損傷のリハビリテーション

改訂第2版



二瓶隆一・木村哲彦・牛山武久・陶山哲夫・飛松好子 編著  
協同医書出版社

## 2. 歩行に関する研究の現状と今後

近年、人間の脊髄には従来考えられていた以上の能力があることが明らかにされつつあり、脊髄損傷関連の神経科学は大きな変革期を迎えているということが出来ます。そのような神経科学の進歩は新しいリハビリテーションの理論的な枠組みを与え、それに基づいた新たな手法も考案されるに至っています。そして以前では、一生機能回復は見込めないとされていた脊髄損傷者の中にも、リハビリテーションによっては機能が回復する人が存在することがわかってきました。残念ながら、現状ではなお脊髄損傷を根本的に回復させる技術は開発されていませんが、これを成功させるために損傷した脊髄を再生させること、あるいは脳との結合を再び取り戻すこと、等をめざした研究が世界中で先を競って行われており、それらは今後の進展が最も期待されている研究分野です。本稿では、特に脊髄損傷後の歩行回復に関連する近年の研究をまとめるとともに、それらの研究成果を基に開発された免荷式ステッピングトレーニングの理論と実際について紹介します。

### 脊髄の歩行パターン発生能力

ネコなどの四足動物には、脊髄の中に基本的な歩行パターンやリズムを生成する神経回路があることが知られています。そのような神経回路を中枢パターン発生器（central pattern generator：CPG）と呼びます。従来、サルや人間など霊長類の脊髄にCPGは存在しないと考えられてきました。ところが1990年代以降、人間の脊髄にもCPGがあることをうかがわす実験結果や観察結果が数多く報告されるようになり、CPGが存在しないとされた従来の考え方は否定されつつあります。CPGの存在を示唆する報告の多くは脊髄損傷者を対象とした実験結果に関するものです。中でもトレッドミル上で脊髄損傷者の下肢を受動的にステッピングさせることによって観察される麻痺筋群の筋活動は最も多くの研究室で調べられており、脊髄CPGの存在を強く示唆する現象と考えられています。動物実験によってCPGは脳からの指令がなくても、下肢からの感覚情報を受け、パターン化した運動出力を生成する性質があることがわかっていま

す。トレッドミル上で他者が下肢を動かすことで引き出される麻痺筋群の筋活動はそのようなCPGの性質を反映していると考えられるのです<sup>1)</sup>。

スイスのDietzらの研究グループは、トレッドミル上での受動的ステッピング時に誘発される筋活動（歩行様筋活動）と脊髄の損傷高位になんらかの関係があるのかどうかを調べました。その結果、完全麻痺者だけを対象にすると、頸髄損傷のような高位の損傷者のほうが健常者のパターンに近い歩行様筋活動を発生させる能力が高いことがわかりました<sup>2)</sup>。これは、脊髄のCPGを含む神経回路（歩行中枢）が脊髄内のある髄節に限局して存在するのではなく、広く分布しているために、歩行に関わる神経回路に限っていえば、未損傷部位が多く残存する高位損傷者のほうが末梢入力に反応して歩行様筋活動を発生させる能力が高いことを示していると考えられました。

アメリカのHarkemaらのグループは歩行様筋活動が下肢に加わる荷重や下肢の動作速度などに応じて変化することから、脊髄神経はそれら体性感覚情報の一種の解釈を行う能力があると考えています<sup>3)</sup>。私たちのグループは、歩行装具を用いた杖歩行中にも下肢の麻痺筋群に歩行様筋活動が誘発されることを観察しました<sup>3-5)</sup>。歩行装具を用いた歩行も下肢への荷重と股関節の屈曲・伸展運動が確保されており、それらに関する体性感覚情報が歩行様筋活動を誘発する、と考えることができます。

### 脊髄の学習能力

脊髄損傷者のための新しいリハビリテーションを支える理論的枠組みにおいて、脊髄CPGと並ぶもう一つの重要な概念は脊髄の学習能力です。従来、脊髄は脳からの神経指令を筋に伝え、末梢感覚入力に対して反射性出力を応答するだけの器官であって、それ自体に学習能力はないと考えられてきました。しかし近年では、脊髄にはある程度の学習を可能とする可塑的な性質があることが明らかとなってきました。この性質はリハビリテーションにおいては極めて重要な意味をもちます。Dietzらはトレッドミル上での受動的ステッピングトレーニン

グを継続して行うことで、歩行様筋活動が改善することを示しました<sup>6)</sup>。筆者らのグループは装具歩行のトレーニングによって完全対麻痺者の歩行様筋活動も改善することを報告しました<sup>9)</sup>。これらの結果は受動的なステップングあるいは装具歩行中の末梢体性感覚情報が繰り返し入力されることによって脊髄神経回路の伝達特性が再組織化されることを示しています。これは学習の基本的性質といえます。

最近では、脊髄より上位の中枢神経と脊髄を結ぶ経路が一部でも残っていると（臨床的にはいわゆる不全麻痺）、再組織化の可能性はさらに高いことが予想されています。

## 新しい歩行リハビリテーションの原理と方法

新たに発見された脊髄の上記性質をその理論的背景として開発されたのが免荷式ステップングトレーニングです（図356）。図356の例では、脊髄損傷者をパラシュート用ハーネスと免荷装置を用いてトレッドミル上で上方に牽引して立たせ、2人の理学療法士がベルトスピードに合わせて両サイドで交互にステップングを行っています。重要な点は、体重が脚全体に加わる立脚期と加わらない遊脚期を規則的に繰り返すことと股関節の伸展を引き出すことです。そのために立脚期には膝をロックさせ体重が片脚側にのるようにするとともに立脚期の終了時点での足部離床位置が股関節位置より後方になるようにしています。この2点が強調されるのは、脚全体に加わる荷重情報と股関節の伸展に関わる感覚情報が脊髄歩行中枢を刺激するために最も重要と考えられているからです<sup>2,7)</sup>。

次にステップング時の体重免荷は通常、重量物とばねを組み合わせた牽引装置を用い訓練者の体重に応じて行われます。その量は、トレーニングの進行、改善度によって適宜変更されます。スイスのチューリッヒ大学バルグリスト病院にある対麻痺センター（Swiss Paraplegic Centre, University Hospital, Balgrist）で行われている例では、トレーニング初期には体重の50%程度を免荷し、

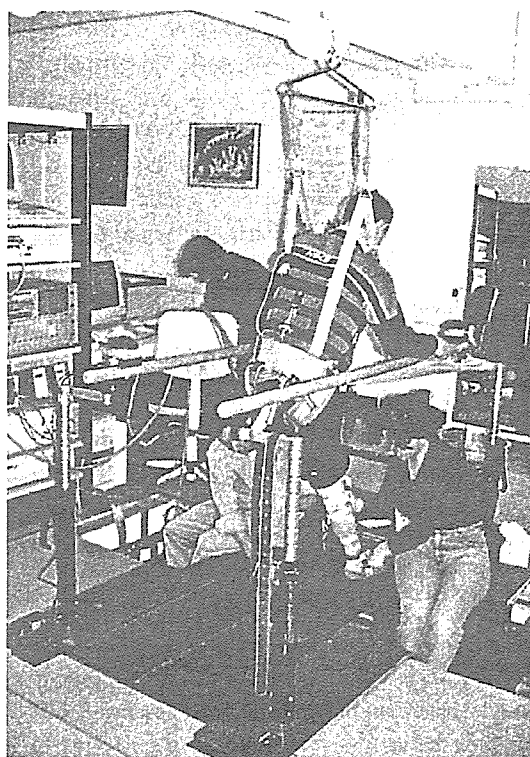


図 356 免荷式ステップングトレーニングの様子

歩行能力回復とともに徐々に免荷量を減じる方法をとっています。ステップング頻度はトレッドミルのベルトスピードと歩幅との関係から決定され、同病院の例ではトレーニング初期で1.5 km/hのベルトスピードが採用されています。これも訓練者の状態、回復度に応じて適宜変わるものです。

以上、スイス対麻痺センターで行われている例を基に免荷式歩行トレーニングの具体的方法について述べました。残念ながら、このトレーニングの効果がいくら大きなものであっても、わが国の現況の医療制度のもとにこれを取り入れることは不可能と考えられます。最大の欠点は1人の患者に対し、常時2人以上の理学療法士が必要となる点にあります。さらに、ステップング動作の補助はかなりの労力が必要であり、1人の理学療法士が続けて何人もの患者の補助をすることは現実的に不可能という実施上の制約もあります。これら最大の欠点を克服するために、機械を用いて補助者の代行を行わせようと

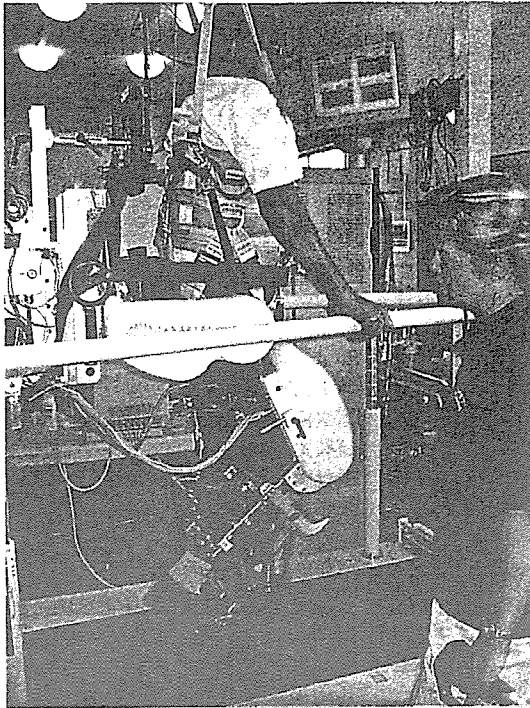


図 357 歩行トレーニング用ロボット Lokomat を用いた歩行トレーニングの様子

いう考えはごく自然な発想といえるでしょう。既にドイツ、スイスなど医療先進諸国においては、そのような発想の基に歩行トレーニング機が開発されています<sup>9)</sup>。

## ロボティックスを用いた トレーニング

図 357 は上記スイス対麻痺センターとチューリッヒ工科大学において共同開発された歩行トレーニング用ロボット、Lokomat (Hocoma 社, スイス) です。Lokomat の基本機構は長下肢装具の膝と股関節部分に動力機構を取り付けた装具部, テッドミル上に固定する固定部, および装具の動きを制御するコンピュータから構成されています。これらを免荷装置およびテッドミルと

組み合わせることで、それまで人間の手で行っていたステップの補助を、機械を用いて代替することが可能となったのです。それによって、補助者の疲労という制限因子が克服されたため長時間のトレーニングも可能となりました。Lokomat は既に世界数カ国の施設間ネットワークの中で臨床試験を行っており、実用段階に入っているといえます。今後テクノロジーの発達とともに同様の機器開発がますます加速されるのは必然の流れといえるでしょう。

### 参考文献

- 1) Dietz V, Nakazawa K, Wirz M, et al. : Level of spinal cord lesion determines locomotor activity in spinal man. *Exp Brain Res* 128 : 405-409, 1999.
- 2) Harkema SJ, Hurley SL, Patel UK, Requejo PS, Dobkin BH, Edgerton VR : Human lumbosacral spinal cord interprets loading during stepping. *J. Neurophysiol* 77 : 797-811, 1997.
- 3) Kojima N, Nakazawa K, Yamamoto S-I, Yano H : Phase-dependent electromyographic activity of the lower-limb muscles of a patient with clinically complete spinal cord injury during orthotic gait. *Exp Brain Res* 120 : 139-142, 1998.
- 4) Kojima N, Nakazawa K, Yano H : Effects of limb loading on the lower-limb EMG activity during orthotic locomotion in a paraplegic patient. *Neurosci Lett* 274 (3) : 211-213, 1999.
- 5) Nakazawa K, Kawashima N, Kakihana W, Akai M, Yano H : Induction of locomotor-like EMG activity in paraplegic persons by orthotic gait training. *Exp Brain Res* 157 (1) : 117-123, 2004.
- 6) Dietz V, Colombo G, Jensen L : Locomotor activity in spinal man. *Lancet* 344 : 1260-1263, 1994
- 7) Dobkin BH, Harkema SJ, Requejo, PS, Edgerton VR : Modulation of locomotor-like EMG activity in subjects with complete and incomplete spinal cord injury. *J Neurol Rehabil* 9 : 183-190, 1995.
- 8) Colombo G, Wirz M, Dietz V : Driven gait orthosis for improvement of locomotor training in paraplegic patients. *Spinal Cord* 39 : 252-255, 2001.

(中澤公孝)

# 生涯スポーツ実践論

生涯スポーツを学ぶ人たちに

改訂2版

川西正志・野川春夫編著

体育・スポーツ・健康科学テキストブックシリーズ

TEXTBOOK SERIES

FOR  
PHYSICAL EDUCATION,  
SPORTS  
AND  
HEALTH SCIENCES



CHI  
市村出版

# 11 章

## 障害者のスポーツ参加

身体に障害がある人々（以下、障害者）のスポーツは、わが国では、長野パラリンピックでの日本人選手の活躍がマスメディアにこぞって取り上げられたことを契機に、その存在が広く知られるようになった。パラリンピックにおいて身体機能に障害をもつ人々が懸命にスポーツに取り組み、技術や記録を競い合う様子は、見る者に感動や勇気を与え、もう1つのオリンピックとしてのパラリンピックの存在を広く知らしめることとなったといえよう。一方、過度の商業主義、それにとまなう勝利至上主義がオリンピックに種々の弊害をもたらしているように、マスメディアに取り上げられ人々の関心が高まり、その商品価値が高まるとともにパラリンピックにもまたオリンピック同様の問題が生じつつある。本章では障害者のスポーツ参加について、その歴史と現状を概観するとともに、障害者がスポーツあるいは身体運動を行うことの意義、障害者スポーツに内在する問題について述べる。

### [1] 障害者スポーツの歴史

#### 1. 障害者スポーツの発祥

今日のパラリンピックを代表とする身体障害者スポーツはイギリスのストークマンデビル病院にその発祥地を求めることができる。ストークマンデビル病院は1944年、イギリス政府の要請により、軍隊所属の医療施設としてロンドン郊外のアイレスベリーに設立された。この地でスポーツを治療およびリハビリテーションの一環として取り入れ、当時としては驚異的な成績を収めることに成功したのが、Ludwig Guttmann（以下、グットマン卿）をリーダーとするリハビリテーションチームであった。グットマン卿は脊髄損傷者の急性期処置からリハビリテーションに至る当時としては画期的な一貫した治療とリハビリテーションシステムを作り、その中に車椅子スポーツを取り入れたのである。彼は身体障害者がスポーツを行う意義として、治療的、レクリエーション的効果の他に、障害者が社会の成員として再び復帰することを促すのにスポーツが大きく貢献できるとしている（市川、1983）。彼は車椅子ポロあるいは車椅子バスケットボールなどのチームスポーツは、障害者も健常者も同じルー



ルのもとに競い合うことができることから、お互いが理解しあい、また障害者が自信を深めるのに最適と考えたのである。

## 2. 障害者スポーツ競技会の発展

上述のようにストークマンデビル病院では、スポーツを医療行為の一環として取り入れることが大成功を収めたため、毎年開かれるスポーツフェスティバルとしての競技会をこの地で開催するようになった。そして第1回は1948年7月28日、ロンドンオリンピックの開会日と同じ日に行われた。これはストークマンデビル競技会と呼ばれ、四肢麻痺者のためのスポーツ競技会であった。第1回の参加者はイギリスの退役軍人男性14名、女性2名の計16名であり、競技種目はアーチェリー競技のみであった。しかし、1952年にはオランダの退役軍人の参加も得、この大会が国際化するとともに国際ストークマンデビル競技委員会が設立された。そして、毎年7月末にストークマンデビル病院運動場で競技会を開催すること、オリンピック開催年にはオリンピック開催地で開催することが決定された。こうして障害者のための初めての国際的スポーツ競技会が発足したのであった。

## 3. パラリンピックの発祥

ストークマンデビル競技会は1960年ローマにおいてストークマンデビル以外の場所で初めて開催され、続いて1964年には正式名称を「国際身体障害者スポーツ大会」としてオリンピックとともに東京で開催された。この大会をパラリンピック、東京パラリンピックと呼んだのである。パラリンピックという名称はparaplegia（パラプレジア；対麻痺）のパラとOlympic（オリンピック）を組み合わせた造語であり、日本で初めて用いられた愛称であるという。パラリンピックが公式名称になったのは1988年のソウル以降であり、国際オリンピック委員会に正式に認められてからである。ただし、パラの意味は対麻痺ではなくparallelのパラであり、オリンピックと平行して行われるもう1つのオリンピックの意味になったのである。1989年には国際パラリンピック委員会（International Paralympic Committee, IPC）が発足し、以降パラリンピックを運営するようになった。同委員会は1960年にローマで行われた車椅子競技会を第1回パラリンピックとし、2000年シドニー大会を第11回とした。

## 4. パラリンピックの発展

1976年トロントで開催されたパラリンピック（オリンピックはモントリオールで開催）は、国際ストークマンデビル競技連盟と国際身体障害者競技連盟が共催したことで脊髄損傷だけでなく様々な障害をもつ選手が参加した初めての大会となった。以降、パラリンピックは拡大への道を歩むことになる。この間、これを組織・運営するいくつかの国際委員会が設立・統合され、パラリンピックの基盤が急速に整備されていった。この動きの第1段階は国際パラリンピック委員会の前身である国際調整委員会の設立である。同委員会は1984年、国際ストークマンデビル車椅子競技連盟、脳性麻痺国際スポーツ・レクリエーション協会、国際盲人協会の代表が協議し、新たに国際的な障害者スポーツ組織を創立することで合意した結果、創立された。1986年

には国際ろうあ者スポーツ協会と国際精神薄弱者スポーツ協会が加わった。こうして、国際調整委員会は1989年に国際パラリンピック委員会が設立されるまで各国際障害者スポーツ団体の文字通り調整役としてその任を果たしたのである。そして、1989年9月ドイツのデュッセルドルフにおいて国際パラリンピック委員会（International Paralympic Committee）が創設された。1992年のリレハンメル冬季パラリンピックからはIPCが主催権を持ち、4年に1度ずつオリンピック開催地でオリンピックの後に引き続いてパラリンピックを開催することになった。これ以降、パラリンピックは障害を持つ人々の純粋な競技会としてハイレベルなパフォーマンスを競い合う場へと突き進むことになる。現在ではオリンピック誘致都市はオリンピック同様にパラリンピック誘致計画の手続きが必要であり、オリンピックとパラリンピックは同一都市での開催が義務づけられている。

以上、パラリンピックの歴史を振り返ると、障害者を主体としたスポーツ競技会がわずかに50年余りの間に劇的な変貌を遂げてきたことがわかる。当初ロンドンの郊外で医療効果を上げることを主たる目的として取り入れられた車椅子スポーツが、現在では医療目的から完全に離れ、障害を持つ人々の限界を競い合うまさにトップアスリートの競技会となったのである。今や、パラリンピックはオリンピックとともに行われる障害者スポーツの祭典としてその地位を確固たるものとした感がある。しかしそれに伴ってオリンピック同様種々の弊害が発生し始めているのは歴史の必然であろう。

## [2] 日本の障害者スポーツの現状

### 1. (財) 日本障害者スポーツ協会

わが国では1964年の東京パラリンピックを組織・運営した(財)国際身体障害者スポーツ大会運営委員会を大会後の1965年に解散し、新たに(財)日本身体障害者スポーツ協会(JSAD)が設立された。この協会が全国身体障害者スポーツ大会の開催等、日本の身体障害者スポーツにかかわる様々な事業を展開してきた。そして1999年にはあらゆる障害を対象とし(財)日本障害者スポーツ協会に改組された。また、同じ年には協会内に日本パラリンピック委員会が設置され、障害者の競技スポーツを統括する団体として、パラリンピックとフェスピック(極東・南太平洋身体障害者競技大会)での競技成績向上に向けた事業を行っている。

### 2. 日本障害者スポーツ協会主催大会

2006年現在、同協会は11の競技会を主催している。中でも規模の大きい全国障害者スポーツ大会とジャパンパラリンピックについて説明する。

#### (1) 全国障害者スポーツ大会

JSADは1965年以来、全国身体障害者スポーツ大会を国民体育大会と同じ開催県で開催してきた。2000年の富山大会まで36回を数えたが、2001年宮城大会からは知的障害者の全国スポーツ大会「ゆうあいピック」と統合され、第1回全国障害者スポー

ツ大会となった。これが現在日本で行われている最大の障害者スポーツ競技会である。しかしこの大会は1996年の広島大会までは個人競技の出場機会が一生に1度に限られていた\*。また、クラス分けや競技規定等にもわが国独自のものがあり、パラリンピックのようなエリート選手の大会とは趣を異にしている。

### (2) ジャパンパラリンピック競技大会

JSADが国内の各競技団体と共催して行う国内最高水準の競技会とされる。パラリンピックへの対応として、競技力向上と記録の公式認定を主たる目的として開催されている。競技種目は、陸上、水泳、アーチェリー、アイススレッジホッケー、アルペンスキー、クロスカン트리スキーの6競技である。

## 3. 各種障害者スポーツ競技団体および障害者スポーツセンターの現状

2006年1月現在で（財）日本障害者スポーツ協会に登録されている障害者スポーツ団体は総計44団体ある。また、同協会のホームページにリストアップされている障害者スポーツセンターは全国で21カ所である。わが国ではまだまだ障害者が健常者同様に公的あるいは民間のフィットネスセンターなどの運動施設を利用することは困難であり、障害者スポーツセンターなど専用の施設を使用せざるを得ない面がある。しかし、都道府県の数より障害者スポーツセンターの数が少ないのが現状である。以下に述べるように障害者にとって継続的な身体運動の実施は健常者以上に重要であると考えられることから、障害者が気軽に運動できるような社会基盤の整備が待たれる。

# [3] 障害者にとっての身体運動の重要性

## 1. 障害がある人にとっての運動の意義

パラリンピックを代表とする身体障害者のスポーツ競技会が社会に広く認知され、ますます盛んになる一方で、障害者の健康管理、体力維持を目的とした身体運動の重要性が指摘されている（Rimmer, 2000, NCPAD web site）。これは医療技術の進歩に伴って障害者の寿命が大幅に延長してきたことと無縁ではない。すなわち、障害者の高齢化が進むに伴い、種々の二次障害やいわゆる生活習慣病の多発が新たなしかも重大な問題として顕在化し、ここに至って、それらを防ぐ意味での身体運動の必要性が高まってきたのである。

多くの身体障害者は積極的に運動しない限り、極端な運動不足（麻痺部位の不働化、不使用）に陥り、それによって種々の重篤な二次的障害を招く危険性が増大する。慢性的な運動不足がもたらす種々の悪影響はベッドレスト（長期臥床）やギプスによる不働化を用いた研究で明らかにされてきた。麻痺による四肢の不働化は、その部位ばかりか全身の状態に影響を及ぼす。したがって身体に障害がある人にとって健康・体力の保持増進を目的とした身体運動の必要性は健常者以上に高いといえる。事実、身体の一部に障害があると日常の身体活動量や基礎代謝の低下があり、健常者に比べて、

冠動脈疾患や耐糖能異常を起こしやすい（佐久間，2005）．このようにみえてくると，身体の一部に障害がある人々にとっては，適度な身体運動量の確保が生理学的に不可欠なことがわかる．

以上，身体に障害がある人にとっては，身体運動やスポーツが健常者とはまた違った意味を有することが明らかである．しかし，わが国の現状を見ても一部のトップアスリートだけでなく一般の身体障害者が気軽に利用できる民間および公共の運動施設が十分に整備されているとはいいがたい．個々の障害者の状態に適した運動を処方するために必要な科学的データや運動を実践する指導者および施設などのインフラストラクチャーが早急に整備されることがのぞまれる．

## 2. 運動麻痺者に対する運動の効果

それでは身体の一部に障害（ここでは下肢麻痺）がある人がトレーニングのために継続的な運動を行った時に，麻痺領域を含めた全身諸機能にどのような反応があるのだろうか．次に実際の例を見てみよう．

交通事故などのため脊髄を損傷すると多くの場合，損傷部以下の神経が支配する領域の運動機能や感覚機能が損なわれる．特に両側の下肢が麻痺した場合を対麻痺と呼ぶ．対麻痺者の運動は通常，腕エルゴメータや車椅子駆動など上肢を使う形態をとる．それに対し著者らは麻痺している下肢も機械や人間の手で他動的に動かすと筋活動を誘発できることに着目し，そのようにして誘発された筋活動によって筋の酸素消費や血流に変化が生じるのかどうかを調べた（Kawashima et al. 2005）．図11-3-1はその実験に用いた装置である．この実験では対麻痺者を装置で支えて立位とし，歩いている時のように下肢を動かした時の筋の活動状態を調べた．その結果，他動的な下肢の周期運動によって麻痺筋に筋活動が出現した（図11-3-2）．そして，その際の筋での酸素消費や血流量が促進していることが判明した．これらは，例え麻痺している下

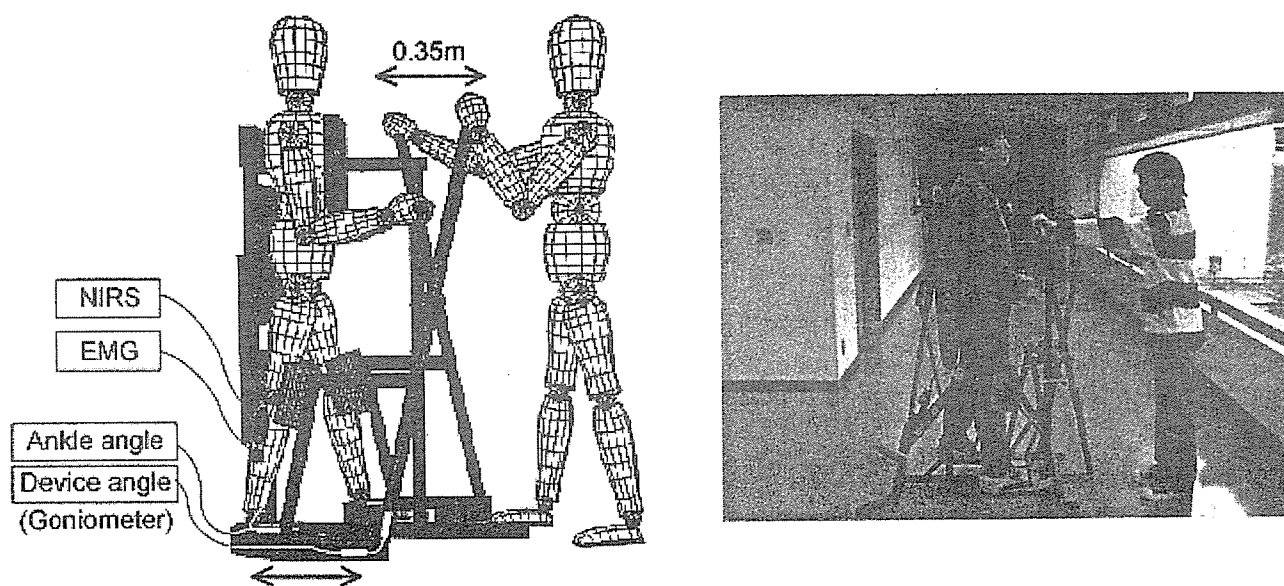


図11-3-1