

脊椎損傷患者における体力増強を目的とした 機能的電気刺激を用いたトレッドミル歩行

トロントリハビリ病院 宮谷 昌枝
(共同研究者) 国立障害者 河島 則天
リハビリテーションセンター
ヒューストン大学 T.Adam Thrasher

Exercise Intensity during Treadmill Walking with Gait Patterned FES among Patients with Incomplete Spinal Cord Injury

by

Masae Miyatani

Lyndhurst Centre, Toronto Rehabilitation Institute

Noritaka Kawashima

*Research Institute of the National Rehabilitation Center
for Persons with Disabilities*

T.Adam Thrasher

Health & Human Performance, University of Houston

ABSTRACT

It is challenging for individuals with incomplete spinal cord injury (SCI) to achieve the required fitness level to prevent ensuing secondary complications such as coronary artery disease. The additional muscle activity induced by gait patterned functional electrical stimulation (GP-FES) may help these individuals to achieve the required fitness level. The purpose of this study is to assess the feasibility of increasing exercise intensity in individuals with SCI using GP-FES assisted walking on a treadmill. Subjects

were three male individuals with SCI. All three individuals had motor-incomplete lesions, levels T6, C4 and T10 and were 39, 45 and 50 years age, respectively. The test protocol consisted of sequential four-minute long session of: 1) Without GP-FES walking (Non-GP-FES assisted walking), 2) GP-FES assisted walking, and 3) 2nd Non-GP-FES assisted walking. GP-FES was applied to the quadriceps, hamstrings, tibialis anterior, and triceps surae muscles using a surface electrical stimulation system. Oxygen consumption (ml/kg/min) was measured during each trial. In all subjects Oxygen consumption increased during GP-FES-assisted walking (Subject A : 14.5, B : 19.1, C : 17.0: ml/kg/min) as compared to that of the Non-GP-FES assisted walking (1st Non-GP-FES assisted walking: Subject A : 13.4, B : 18.2, C : 17.0: ml/kg/min; 2nd Non-GP-FES assisted walking: Subject A : 13.1, B : 17.8, C : 17.5: ml/kg/min). METs values during 1st Non-GP-FES assisted walking were 3.8, 5.2, and 4.8 METs, while METs values during GP-FES assisted walking were 4.2, 5.5, and 5.5 METs in subject A, B and C, respectively. In conclusion, Oxygen consumption increased during GP-FES assisted walking compared to Non-GP-FES walking. GP-FES assisted walking has a potential of increasing exercise intensity for individuals with SCI. Further randomized control studies to investigate the training effect of the GP-FES assisted walking is required.

要 旨

本研究では、歩行パターン機能的電気刺激 (Gait patterned functional electrical stimulation: GP-FES) 歩行運動を下肢不全麻痺の脊椎損傷 (SCI) 患者に適用し、その運動強度を明らかにすることを目的とした。4ヶ月のGP-FES歩行トレーニング終了者8名の中から12分間の連続トレッドミル歩行運動を実施可能であった男性3名 (損傷高位: T6, C4, T10, 年齢: 39, 45, 50歳) が測定に参加した。運動プロトコルは反転法を用い、2分間安静の後、1) GP-FESなしの歩行 (Non GP-FES歩行)、2) GP-FES歩行、3) Non GP-FES歩行をそれぞれ4分間ずつ連続12分間のトレッドミル歩行運動であった。GP-FESは、大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋、前脛骨筋に対して表面電気刺激装置を用いて行われた。運動中は

連続的に酸素摂取量 (ml/kg/min) を記録した。運動強度の指標としてMETs値を酸素摂取量から計算した。その結果、すべての被験者において、GP-FES歩行中の酸素摂取量 (被験者A : 13.4, B : 18.2, C : 17.0:ml/kg/min) は、はじめのNon-FES歩行時 (被験者A : 14.5, B : 19.1, C : 19.1:ml/kg/min) よりも増加し、次のNon-FES時 (被験者A : 13.1, B : 17.8, C : 17.5: ml/kg/min) には、再び減少した。はじめのNon GP-FES歩行時と比較して、GP-FES時における酸素摂取量の増加は、被験者それぞれ8.4%, 4.9%, 12.7%であった。GP-FES歩行中のMETs値は、被験者それぞれ、4.2, 5.5, 5.5 METsであった。本研究の結果から、不全麻痺のSCI患者において運動中の酸素摂取量を増大させる効果、すなわち運動強度を増大させる効果が、GP-FESにあることが実証された。今後は、より大きな被験者

集団および無作為抽出実験によって、不全麻痺のSCI患者においてGP-FESのトレーニング効果を検討していく予定である。

緒言

脊髄損傷 (Spinal cord injury: SCI) 患者は、車椅子生活を余儀なくされるため、運動不足による体力の低下、それに伴うメタボリックシンドロームや冠状動脈疾患などの高い罹患率が問題となっている¹⁻³⁾。従って、SCI患者は、日常的に体力増強を目的とした身体運動トレーニングを実施することが望ましい。しかしながら、SCI患者は運動機能が麻痺しているために、随意的筋活動による運動実施が困難であり、ひいては体力増強や生活習慣病予防に必要な運動強度の確保が困難である。

SCI患者では、脳で作られた運動指令が筋に到達しない、あるいは不完全に到達するため、運動不全・疾患が生じる。しかしながら、効果器である筋および関節の状態が健全であれば、該当する神経を刺激することで運動不全・疾患のある関節に関節運動を誘発できる。このような目的で用いられる電気刺激を神経筋電気刺激 (Neuromuscular Electrical Stimulation: NMES) と呼ぶ。NMESを用いて、複数筋群を適切なタイミング・強度で刺激することで機能的な運動を補償する方法を機能的電気刺激 (Functional Electrical Stimulation: FES) と呼ぶ (Sheffler and Chae 2007)。例えば、下肢複数筋群を歩行時の筋活動パターンに合わせて電気刺激する場合などがFESと呼ばれ、リハビリテーション現場で用いられている。広く一般的に用いられている歩行トレーニングおよびリハビリテーションに用いられているFESの方法は、大腿四頭筋の賦活により立位姿勢を保ち、引込め反射を誘発して遊脚相を開始させ、立脚相に移行するときに再び大腿四頭筋を刺激するというパターンである。しかしながらこの方法は、反射の馴化

により効率が落ちる、また自然な歩行の筋活動とは異なるという欠点がある。そこでThrasherら (2006) は、健常者における歩行時の下肢筋電図を元にプログラミングされたFES (Gait Patterned FES: GP-FES) を考案し、そのプログラムに基づき下肢筋群を表面電極を用いて刺激し、歩行を補助する方法を開発した⁴⁾。Thrasherら (2006) は、このGP-FES歩行トレーニングをSCI患者に適用し、歩行能力に改善が認められたことを報告している。しかしながら、GP-FES歩行による体力の改善効果またはGP-FES歩行の運動強度は明らかにされておらず、体力増強を目的とした運動処方に一般化するには至っていない。

そこで本研究では、GP-FESトレッドミル歩行運動を下肢不全麻痺SCI患者に適用し、その運動強度を明らかにすることを目的とした。運動トレーニングは健常者においてもそうであるように、至適な運動強度を用いることが必要であるが、本研究ではまず、至適運動強度を探る第一歩として、現在用いられている歩行能力改善としたGP-FESトレーニングがSCI患者の心肺機能改善にどの程度の効果を発揮できる可能性があるかを明らかにした。

1. 方法

本研究はトロントリハビリテーション病院脊髄損傷リハビリテーションセンターにて実施された。

対象者は、2007年12月から2008年8月までに、本研究室で実施している18週間のFES歩行トレーニングを完了したSCI患者8名 (男性7名女性1名) であった。なお8名とも、不全麻痺患者で、通常歩行においては、歩行補助具があれば第三者の補助なしで歩行可能であった。対象者の中から、本研究に先立ち予備実験で決定していた12分間のトレッドミル上での歩行 (後述) を補助者の歩行補助なしで実行可能な対象者を選別した。その結果、第三者による歩行補助の必要であった男性

表1 Characteristics of the patients

Subject	Subject A	Subject B	Subject C
Age: years	45	39	50
Sex	M	M	M
Height: cm	175	173	170.2
Weight: kg	77	58	83.1
SCI level	C4	T6	T10
ASIA score	D	n/a	D
Year of postinjury	3	9	34
Cause of injury	Fall	Von-Hippel Lindau syndrome	Caisson disease

2名、および12分間の連続歩行が不可能であった（もしくは12分歩行を望まない）女性1名、男性2名が本実験対象から外れた。従って本研究における被験者は男性3名であった。被験者の身体的特徴は表1に示した。本研究の目的や潜在的な危険性は被検者に口頭および文書により説明し、文書でインフォームドコンセントを得た。また、本研究はトロントリハビリテーション病院倫理委員会の承認を受けて実施した。

1. 1 実験プロトコル

被験者は異なる2日に渡り、研究所を訪れた。最初の訪問において、トレッドミル上で、GP-FES歩行、およびGP-FESなし（Non-GP-FES）での歩行における主観的至適スピード（被験者が快適に歩けるスピード）およびGP-FESの刺激強度が決められた。2回目の訪問では、1回目の訪問時に決めた歩行速度を用いたGP-FES歩行およびNon-GP-FES歩行をトレッドミル上で実施した。歩行運動プロトコルは、GP-FES歩行中の酸素摂取量に変化があった場合、それがGP-FESによるものであることを明らかにするために反転法を用いた。被験者はまず、トレッドミル上での2分間の立位安静姿勢を取った。その後、Non-GP-FES歩行4分間、引き続きGP-FES歩行4分間、再びNon-FES歩行を4分間の合計12分の歩行運動を各被験者で決められた至適スピードを用いて実施した。歩行運動終了後は2分間の立位安静姿勢をとった。合計16分の実験中に酸素摂取量を連続

で測定した。歩行運動中、被験者は安全上の理由からハーネスを装着し、トレッドミルに設置されている手すりを握ることを許可された。

1. 2 歩行パターン機能的電気刺激 (GP-FES)

電気刺激には、Complex Motion (Complex SA, Switzerland) を用いた。刺激条件は、周波数35Hz、パルス幅0-300msの二相性パルスを用いた。GP-FESの対象となった筋群は、両脚の大腿四頭筋、ハムストリングス、下腿三頭筋、前脛骨筋で、表面電極を用いて刺激された。はじめに、それぞれの筋群において最大刺激強度を決定した。被験者は通常の椅子に座位姿勢を取った。各筋群において、検者がマニュアルで抵抗をかけつつ、弱い電流から徐々に電流強度をあげて刺激した。最大刺激強度は、各筋の最大収縮時もしくは、被験者が不快を感じる強度とした。GP-FES歩行では、各筋群におけるこの最大強度の75%の電流強度を用いた。刺激パターンはThrasherら(2006)の方法を用いた⁴⁾。Thrasherらは、2分間歩行テスト時の筋電図を解析し、刺激パターンを決定した(図1)。刺激パターンは立脚期に大腿四頭筋と下腿三頭筋、遊脚期にハムストリングスと前脛骨筋が刺激されるようにプログラムされた。この刺激パターンは、立脚期の終盤にトリガーボタンを押す事で、次の歩行パターンが開始された。歩行周期は、被験者の歩行スピードに合うようにそれぞれ調節された。

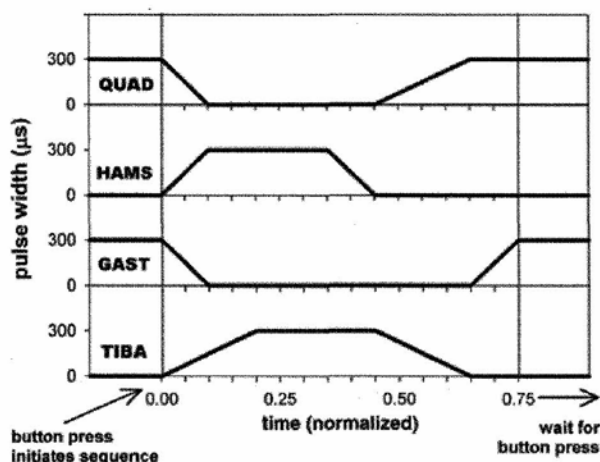


図1 Stimulation program for a single leg. The stimulation begins from initial state representing late stance phase, and pushbutton triggers open-loop sequence beginning with swing phase. Reprinted from Thrasher et al. (2006) with permission

1. 3 酸素摂取量の測定

酸素背摂取量 (ml/kg/ml) は、テレメトリ式呼吸代謝計測システム K4b2 (Cosmed, Italy) を用いて測定された。測定終了後、運動強度の使用として METs 値 (運動時酸素摂取量 / 安静時酸素摂取量 : 3.5ml/kg/min) を計算した。また、FES 歩行を用いて、その酸素摂取量とエネルギー効率を検討した先行研究と本研究の結果比較するために、エネルギー効率を計算した。

計算式は下記の通りである。

Energy cost (J/kg/m)

$$= \frac{\text{Ambulatory min } VO_2 \text{ (ml/min)}}{\text{Speed (m/min)} \times 60} \times K$$

表2 Gate speed, oxygen consumption, and METs values during Non-GP-FES and GP-FES walking

subject	Restl	1st Non-GP-FES	GP-FES	2nd Non-GP-FES2	Resl2
Walking speed (m/min)					
Subject A	-	35	35	35	-
Subject B	-	41.7	41.7	41.7	-
Subject C	-	18.3	18.3	18.3	-
Oxygen Consumption					
Subject A	3.6	13.4	14.5	13.1	8.5
Subject B	7.9	18.2	19.1	17.8	-
Subject C	4.9	17.0	19.1	17.5	9.8
METs					
Subject A	1.0	3.8	4.2	3.8	2.4
Subject B	2.3	5.2	5.5	5.1	-
Subject C	1.4	4.8	5.5	5.0	2.8

Non-GP-FES: Without gate patterned functional electrical stimulation, GP-FES: Gate patterned functional electrical stimulation

ここで $K=20.19\text{J/ml}$ とした。

それぞれの測定パラメーターは、安静時は後半1分の平均値、歩行時はそれぞれ、後半2分の平均値として求めた。

2. 結果

すべての被験者は、12分間の歩行運動を疲労感を感じることなく完了することができた。表2に、各被験者の至適歩行スピード、酸素摂取量、Mets 値を示した。至適スピードは、すべての被験者において GP-FES 歩行時と Non-GP-FES 歩行時とで同じであった。すべての被験者において GP-FES 歩行時に Non-GP-FES 歩行時と比較して酸素摂取量が増加した。運動強度 (METs 値) は、始めの Non GP-FES 歩行において被験者 A, B, C でそれぞれ 3.8, 5.2, 4.8METs であり、GP-FES 歩行においては、それぞれ 4.2, 5.5, 5.5METs であった。

表3に本研究における被験者の GP-FES 歩行時の酸素摂取量、エネルギー効率、歩行スピードと SCI 患者に一般的な FES 歩行を適用した先行研究におけるそれらの値を示した⁵⁻¹³⁾。本研究で得られた GP-FES 歩行時の酸素摂取量の値は、先行研究で得られた値 (6.4ml/kg/min - 22.1ml/kg/min) とほぼ同等であった。エネルギー効率は、先行研究で得られた値 (9.2J/kg/m - 32.5J/kg/m) の範囲にあったが、被験者 C をのぞき、先行研究に比較

表3 Energy consumption and energy cost with FES in previous studies and the present study. All values in previous studies are expressed as an average

Series	Year	Number of subjects	Oxygen consumption (ml/kg/min)	Energy cost (J/kg/m)	Walking speed (m/min)	Increment of oxygen consumption from Non FES to FES walking (%)	Aid	Level	Impairment
Jerrold S	1991	4	22.1	11.2	40.0	53.5	RGO	Para	complete
Hjeltnes N	1990	1	17.0	N/A	N/A	141.7	crutches(FES)/KAFO(NonFES)	T12	complete
Spadone R	2003	1	14.2	32.5	8.8	119.3	ARGO	T5-6	complete
Sykes L	1996	5	7.6	15.5	9.9	110.4	RGO	C2-T6	complete/incomplete
Stein R*	1993	5	14.4	9.2	31.6	98.4	Crutches, Cane	C5-T10	Incomplete
Stein R	1993	9	11.5	11.8	19.6	N/A	Walker, Crutches, Cane	C2-T10	Incomplete
de Carvalho DCL	2005	11	7.1	17.1	8.3	N/A	Body weight support (30-500%)	C4-C8	complete
Carvalho DCL	2005	5	11.4	27.6	8.3	N/A	Body weight support (30-500%)	C4-C8	Incomplete
Carvalho DCL	2005	12	6.4	15.4	8.3	N/A	Body weight support (30-500%)	C4-C8	Complete
de Carvalho DCL	2006	11	9.6	8.9-23.3	8.3-21.7	N/A	Body weight support (30-500%)	C4-C7	Complete
Isakov E	1985	2	15.6	32.3	9.7	N/A	N/A	T6-T9	N/A
Present study		Subject A	14.5	8.4	35.0	108.5	Parallel bars	T6	Incomplete
		Subject B	19.1	9.3	41.7	104.9	Parallel bars	C4	Incomplete
		Subject C	19.1	21.1	18.3	112.7	Parallel bars	T10	Incomplete

FES: Functional electrical stimulation, *Only subjects could walk without FES

して、効率が良い傾向にあった。

酸素摂取量の増加率は、始めの Non GP-FES 歩行時と比較して、GP-FES 歩行で被験者 A: 8.4%, B:4.9%, C:12.7%であった。完全麻痺患者を被験者とし、本研究と同様に FES なしの歩行と有りの歩行時の酸素摂取量を比較した3つの先行研究においては、酸素消費量は、10.4%から41.7%の範囲で FES 歩行実施時に増加していた。一方、Jerroldら(1991)の完全損傷患者と対象とした研究および、Steinら(1993)の不全患者を対象とした研究では、FES 有りの歩行時は、FES なしの歩行時と比較して酸素消費量が低下していた^{5,9)}。

3. 考 察

本研究において、不全麻痺の脊髄損傷患者に快適歩行速度での歩行パターン機能的電気刺激歩行を適用した場合、その酸素摂取量は通常歩行と比較して増加することが明らかとなった。この酸素摂取量の増加は、歩行中の随意の筋収縮に加えて FES が活動筋繊維の動員を増加したためと考えられる。このことは GP-FES 歩行は、脊髄損傷患者が至適速度で歩いたとき、より高い強度で運動可能であるということを示している。この GP-FES

を通常歩行に加えることによる運動強度の増加は、心肺機能への負担を増加し、ひいては心肺機能のトレーニングとして期待できることを示唆している。

GP-FES 歩行の最大の利点は、これまで多くの先行研究や、リハビリテーションの現場で用いられてきた引っ込め反射を活用した FES 歩行を用いた場合よりも、より健常者の通常の歩行動作時に見られる筋活動様式に近い筋収縮を促すことである⁴⁾。また、歩行の1サイクル中の筋の刺激時間も屈曲反射を促す FES よりも長い。従って、GP-FES は、より自然な歩行動作を作り出すことが可能である。また GP-FES は、患者が随意的に発揮することのできる筋収縮よりも強い筋収縮を誘発する。この、より増加された筋収縮が酸素摂取量の増加につながったと考えられる。不全麻痺患者を対象として、引っ込め反射を活用した FES 歩行中の酸素摂取量を測定した先行研究と比較しても、本研究の GP-FES 歩行中の酸素摂取量は高い傾向にあった¹¹⁾。

不全麻痺患者を対象とし、FES 歩行と FES なしの歩行中の酸素摂取量を比較した研究は非常に少ないが、その中でも Stein et al.は、本研究と身体

的特徴の近い患者群に、被験者に合わせて1-2チャンネルの表面電極、経皮電極または埋め込み電極を適用したFES歩行運動中の酸素摂取量を測定した。その結果、FES歩行中の酸素摂取量は、通常歩行のときと比べて低くなる傾向にあった⁹⁾。その原因としては、彼らの方法は、刺激筋群が1-2チャンネルと少なかった、またFESを、トレーニングとしてよりも歩行補助の目的で用いたので、エネルギー効率を重視していたため、と考えられる。

脊髄損傷患者を対象とした、運動ガイドラインは今のところ見当たらない。しかしながら、健常者を対象とした運動ガイドラインでは、国際的に中等度(3.0-6.0METs)の運動を日常的に実施することでほぼ一致している¹⁴⁻¹⁷⁾。本研究における運動強度(METs)は、Non-GP-FES歩行で被験者A, B, Cでそれぞれ、3.8, 5.2, 4.8METsであり、GP-FES歩行においては、4.2, 5.5, 5.5METsであった。Non GP-FES歩行中の運動強度は、すでに健常者における推奨運動強度にほぼ匹敵しており、またGP-FES歩行における運動強度の増加分は一見わずかに見える(0.4, 0.3, 0.7METs)。しかしながら、SCI患者において、心肺持久力の向上および心臓病のリスクファクターである血中脂肪酸濃度の改善のためには、より高強度の運動をすることが望ましい^{18, 19)}。また心肺持久力と血中脂肪酸濃度には密接な関係が認められていることから、SCI患者は、より高強度な運動をすることにより、体力向上に努める必要がある^{20, 21)}。従って本研究で用いたGP-FES歩行は、脊髄損傷患者の運動強度を引き上げるのを助け、彼らの健康増進および改善に貢献できると期待できる。

本研究で得られた、各被験者の歩行スピードは先行研究のそれと比べて速く、またエネルギー効率が高かった。このことは、先行研究の多くが、完全麻痺患者を対象としているのに対して、本研究の対象者は不全麻痺患者であったことに関連し

ているかもしれない。またその中でも12分の連続歩行が可能であった比較的歩行能力を有していた者のみを用いたためと思われる。

本研究は、GP-FES歩行中の酸素摂取量に変化があった場合、それがGP-FESによるものであることを明らかにするために反転法を用いた。そのために歩行運動時間をある程度長めに確保する必要があったため、本研究に参加可能な患者が比較的高機能を有する患者に限られた。今後は、GP-FES法が本研究の参加者よりも低い場合も、運動強度増加に貢献しうるかどうかを、歩行実施時間を短くするなどして検討する必要がある。さらに、GP-FES歩行トレーニングが心肺機能の向上および、心臓病リスクファクターの改善につながるかどうかの介入研究が必要である。

4. 結 論

不全麻痺の脊髄損傷患者において、歩行パターンFESを通常歩行運動に加えることで運動中の酸素摂取量が増加する。このことは、歩行パターンFES歩行は、運動機能麻痺により自らの力で、運動強度を増すことが困難である脊髄損傷患者が、より高強度な運動を実施することを補助できることを示している。今後は、より大きな被験者集団およびより低機能の脊髄損傷患者において、同様な運動強度増加効果があるかどうか検討が必要である。また、実際に歩行パターンFES歩行をトレーニングとして用いた場合の心肺機能改善効果、心臓病リスク改善効果についても検討が必要である。

謝 辞

データの分析および解釈において、政二 慶氏(トロントリハビリ病院)ならびにMilos Popovic氏(トロントリハビリ病院)の協力を得た。ここに記して深く感謝の意を表します。

本研究に対しまして助成を賜りました(財)石

本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) Banerjea R., Sambamoorthi U., Weaver F., Maney M., Pogach L.M., Findley T., Risk of stroke, heart attack, and diabetes complications among veterans with spinal cord injury. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Aug; 89 (8) :1448-1453 (2008)
- 2) Garshick E., Kelley A., Cohen S.A., et al., A prospective assessment of mortality in chronic spinal cord injury. *Spinal. Cord.*, Jul; 43 (7) :408-416 (2005)
- 3) Orakzai S.H., Orakzai R.H., Ahmadi N., et al., Measurement of coronary artery calcification by electron beam computerized tomography in persons with chronic spinal cord injury: evidence for increased atherosclerotic burden. *Spinal. Cord.*;45 (12) :775-779 (2007)
- 4) Thrasher T.A., Flett H.M., Popovic M.R., Gait training regimen for incomplete spinal cord injury using functional electrical stimulation. *Spinal. Cord.*, Jun; 44 (6) :357-361 (2006)
- 5) Petrofsky J.S., Smith J.B., Physiologic costs of computer-controlled walking in persons with paraplegia using a reciprocating-gait orthosis. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Oct; 72 (11) :890-896 (1991)
- 6) Hjeltnes N., Lannem A., Functional neuromuscular stimulation in 4 patients with complete paraplegia. *Paraplegia.*, May; 28 (4) :235-243 (1990)
- 7) Spadone R., Merati G., Bertocchi E., et al., Energy consumption of locomotion with orthosis versus Parastep-assisted gait: a single case study. *Spinal. Cord.*, Feb; 41 (2) :97-104 (2003)
- 8) Sykes L., Campbell I.G., Powell E.S., Ross E.R., Edwards J., Energy expenditure of walking for adult patients with spinal cord lesions using the reciprocating gait orthosis and functional electrical stimulation. *Spinal. Cord.*, Nov; 34 (11) :659-665 (1996)
- 9) Stein R.B., Belanger M., Wheeler G., et al., Electrical systems for improving locomotion after incomplete spinal cord injury: An assessment. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*; 74:954-959 (1993)
- 10) de Carvalho D.C., Cliquet A., Jr., Energy expenditure during rest and treadmill gait training in quadriplegic subjects. *Spinal. Cord.*, Nov; 43 (11) :658-663 (2005)
- 11) Carvalho D.C., de Cassia Zanchetta M., Sereni J.M., Cliquet A., Metabolic and cardiorespiratory responses of tetraplegic subjects during treadmill walking using neuromuscular electrical stimulation and partial body weight support. *Spinal. Cord.*, Jul; 43 (7) :400-405 (2005)
- 12) de Carvalho D.C., Martins C.L., Cardoso S.D., Cliquet A., Improvement of metabolic and cardiorespiratory responses through treadmill gait training with neuromuscular electrical stimulation in quadriplegic subjects. *Artif. Organs.*, Jan; 30 (1) :56-63 (2006)
- 13) Isakov E., Mizrahi J., Graupe D., Becker E., Najenson T., Energy cost and physiological reactions to effort during activation of paraplegics by functional electrical stimulation. *Scand. J. Rehabil. Med. Suppl.*; 12:102-107 (1985)
- 14) Ministry of Health LaWoJ. Exercise and physical activity reference quantity for health promotion 2006 (EPARQ2006) - Physical Activity, Exercise, and Physical Fitness -. Tokyo: General Affairs Division, Health Service Bureau, Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan (2006)
- 15) Warburton D.E., Katzmarzyk P.T., Rhodes R.E., Shephard R.J., Evidence-informed physical activity guidelines for Canadian adults. *Can. J. Public Health.*; 98 Suppl 2:S16-68 (2007)
- 16) Medicine ACoS. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 6th. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA (2000)
- 17) Institute CFaLR. Meeting guidelines. Progress in prevention bulletin 31. Canadian Fitness and Lifestyle Research Institute, Ottawa, Ont (1998)
- 18) de Groot P.C., Hjeltnes N., Heijboer A.C., Stal W., Birkeland K., Effect of training intensity on physical capacity, lipid profile and insulin sensitivity in early rehabilitation of spinal cord injured individuals. *Spinal. Cord.*, Dec; 41 (12) :673-679 (2003)
- 19) Hooker S.P., Wells C.L., Effects of low- and moderate-intensity training in spinal cord-injured persons. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Feb; 21 (1) :18-22 (1989)
- 20) Dallmeijer A.J., van der Woude L.H., Health related functional status in men with spinal cord injury:

relationship with lesion level and endurance capacity. *Spinal Cord*, Nov; 39 (11) :577-583 (2001)

- 21) de Groot S., Dallmeijer A.J., Post M.W., Angenot E.L., van der Woude L.H., The longitudinal relationship between lipid profile and physical capacity in persons with a recent spinal cord injury. *Spinal Cord*, May; 46 (5) :344-351 (2008)