

201122035A

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）

脊髄損傷後の歩行機能回復のための  
新たなニューロリハビリテーション方法の開発

平成23年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 赤居 正美

平成24(2012)年4月

## 目 次

I. 総括研究報告 脊髄損傷後の歩行機能回復のための新たなニューロリハビリテーション方法 の開発に関する研究	1
赤居 正美	
II. 分担研究報告 脊髄損傷後歩行機能再獲得のための神経リハビリテーション方法の開発	5
緒方 徹	
III. 国際学会発表資料 International Symposium of Medical Device 2011	7
IV. 研究成果の刊行に関する一覧表	17
V. 研究成果の刊行物・別刷	19

脊髄損傷後の歩行機能回復のための新たなニューロリハビリテーション  
方法の開発に関する研究

研究代表者 赤居 正美 国立障害者リハビリテーションセンター病院 院長

研究要旨

本研究では、脊髄損傷患者の歩行機能再獲得の鍵と目される脊髄パターン発生器（central pattern generator: CPG）の性質に着目し、その活動を励起・賦活させる神経生理学的機序を検証する。それを基に新たな神経リハビリテーション（neurorehabilitation）方法の構築をめざす。

近年、特に欧米を中心に、体重を部分的に免荷した状況下で下肢の動作を補助し、正常な歩容を再現する「免荷式歩行トレーニング」が、歩行リハビリテーションの主流となりつつある。この動向には、近年の神経科学領域の研究によって脊髄組織を含む中枢神経系が可塑的性質を持つことが明らかにされ、繰り返しの歩行訓練によって、かなりの歩行機能再獲得が実現できる可能性が示されたことが影響している。

最近報告された無作為化比較試験では、ASIA CおよびDに分類される脊髄不全損傷者のうち、9割にトレーニングによる歩行能力の改善が認められている。しかし従来の歩行リハビリテーションとの比較では、その効果に統計学的有意差は認められず、どのような戦略を採ればより効果的な歩行機能再獲得が実現できるのか、あるいは障害や麻痺状態などによってどの程度までの機能回復を見込めるのか、については未だ不明な部分が多い。また、免荷式歩行トレーニングの効果を検証した幾つかの研究では、介入後の歩行速度や動作の改善、運動中の筋活動の改善などの効果を報告しているものの、歩行機能改善の具体的な神経機序については、明らかにされていない。

研究方法としては、1年目に脊髄損傷者の残存神経機能の定量的把握と、歩行運動出力を高めるための具体的な方策を検討し、その成果に基づいて、2年目に歩行リハビリテーションプログラムを作成した。最終年度には、開発したリハビリプログラムの評価・改善を行った。

（1）不全脊髄損傷患者に対し、適度な荷重・上肢運動の追加・随意的な歩行努力の3要素を加えたプロトコルを用いる週3回のLokomatトレーニングを12週間行い、その効果を前後の測定によって検証した。いずれの被験者においても歩行速度の改善、静止立位姿勢中の重心動揺特性の改善が認められた。

（2）皮質脊髄路興奮性を反映する経頭蓋磁気刺激を用いた運動誘発電位は、6名中3名においてトレーニング当初は発現しなかった前脛骨筋の応答がトレーニング後で発現するなど、中枢神経の可塑的変化を支持する結果が得られた。

（3）下肢筋群全般にわたって痙性麻痺の減少を示唆する変化を認めた。脊髄歩行中枢による歩行のリズム生成は、随意運動出力の改善とあいまって、歩行動作の改善と安定性をもたらしたものと考えられた。

本研究の成果は、脊髄損傷者の移動能力の維持・向上を図る、より効果的な新たな神経リハビリテーション方法を立案する上で極めて有用な情報を提供し得るものと考えられる。

研究分担者氏名・所属研究機関名及び所属研究機関  
における職名

緒方 徹

(国立障害者リハビリテーションセンター研究所 部長)

中澤 公孝

(東京大学大学院総合文化研究科 教授)

飛松 好子

(国立障害者リハビリテーションセンター病院 健康増進  
センター長)

神作 憲司

(国立障害者リハビリテーションセンター研究所 室長)

梅崎 多美

(国立障害者リハビリテーションセンター学院 教員)

トレッドミル歩行訓練は「正常な歩行動作を再現することにより、種々の求心性感覚入力を脊髄CPGに与え、その活動を改善する」という理論的基盤をもつ。しかし、実際のところ歩行機能の再獲得に至る神経生理学的機序は未だ明らかではない。本研究では、歩行機能再獲得の鍵と目される脊髄CPGの性質に着目し、その活動を励起させる神経生理学的機序を検証し、それを基にした新たな神経リハビリテーション方法の提案を目指す。すなわち、本研究の目的は脊髄CPGの活動を励起する適切な神経入力を与えることにより可塑的変化を促し、合目的的に歩行機能回復を実現する神経リハビリテーション方法を開発することである。

A. 研究目的

脊髄損傷者の歩行機能回復をめざす体重免荷による

B. 研究方法

本研究を開始するに当たり、課題を整理した。

(1) 脊髄CPGを賦活化するというコンセプトはあるものの、それ以上のメカニズムが明らかでないこともあり、訓練方法(Lokomatの使用法も含め)にばらつきがある。その背景として、受傷後1年以内の訓練効果には自然回復の影響があり、他の訓練効果と識別しにくいこと、逆に受傷後1年以上以降であると訓練効果が出にくいことも考えられる。したがって、研究の組み立てとして、以下を定めた。

- ・CPG賦活化の方法を検討する。
- ・訓練前後で得られる歩行の変化を詳細に解析する。
- ・まず受傷後1年以上経過した症例を対象とする。

そこで、

(2) 1年目を脊髄CPGの活動賦活のための方法論づくりに関する基礎研究ステージ、2年目をリハビリテーション方法の開発に関する応用研究ステージ、さらに3年目を開発した方法の評価・改良に関する最終研究ステージとして位置づけた。

(3) 具体的には、動力型歩行補助装置(Lokomat)による外的な歩行キネマティクスの形成を軸として、歩行運動出力を促通すると考えられる種々の末梢性感覚情報、異なる体肢からの神経情報、付加的な電気刺激による感覚入力、脳からの重畳的な随意神経指令を組み合わせた新たな方法を考案、3ヶ月の歩行リハビリテーション実施による訓練効果の定量的把握を行った(図1)。

#### 動作解析と神経生理学的検討

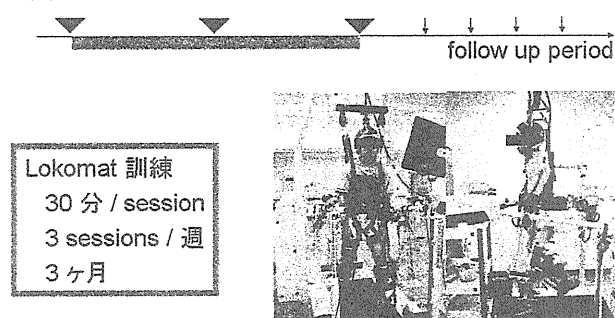


図1 Lokomatを用いた歩行訓練の実際

(4) 最終年度にあたる平成23年度にはまず、2年目終盤に試験的に実施した脊髄損傷者の訓練実験のデータを解析し、訓練プログラムに改善の必要性があるか否かについて検討した。上肢の随意運動が可能な例では、四肢の連関運動を取り込むこととし、自身の運動努力への集中を高める手法とした。その後、7名の脊髄不全損傷者に対して引き続き3か月にわたる歩行訓練を実施した。

(5) 訓練効果の評価にあたっては、外的な歩容の変化のみならず、神経活動の変化を生理学的にとらえ、歩行機能の改善が中枢神経系のどの階層で、またどのような機序で生じたのかを検討することとした。また、訓練終了3か月後の計測を実施すること

で、訓練終了後の効果の残存についても検討した。

(倫理面への配慮)

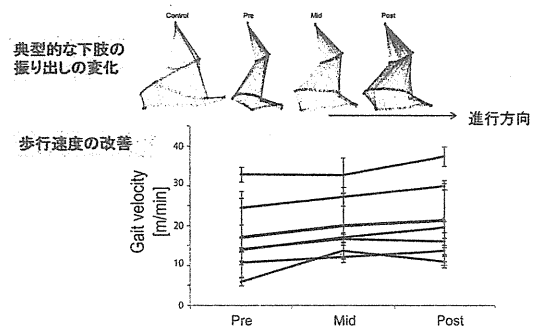
研究は国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を得た上で実施している(取得済)

#### C. 研究結果

2年間の結果を踏まえ、Lokomatを用いた歩行訓練に、適度な荷重・上肢運動の追加・随意的な歩行努力の3要素を加えたプロトコルを作成した。実際に不全脊髄損傷患者に対し、週3回のLokomatトレーニングを3か月(12週間)行い、その効果を前後の測定によって検証することとした。実験は研究期間終了までに10名終了する予定であったが、東日本大震災により一時期実験中断を余儀なくされ、23年度までに、7名の実験完了となった。

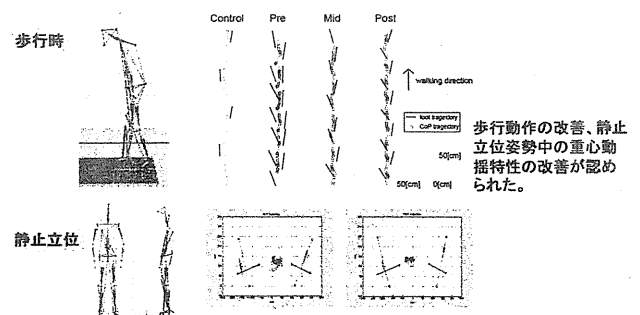
いずれの被験者においても歩行速度の改善、静止立位姿勢中の重心動揺特性の変化が認められた。

#### 歩行速度の改善



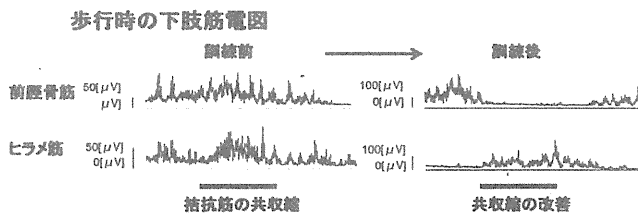
皮質脊髄路興奮性を反映する経頭蓋磁気刺激を用いた運動誘発電位は、6名中3名においてトレーニング当初は発現しなかった前脛骨筋の応答がトレーニング後で発現するなど、中枢神経の可塑的变化を支持する結果が得られた。

#### 重心の安定性



歩行動作の改善、静止立位姿勢中の重心動揺特性の改善が認められた。

## 筋電図の変化



下肢筋の過剰の興奮(痙性を含む)が減弱した結果、筋活動が整うようになった

また、歩行中の下肢筋活動に関して、体重支持・抗重力的に働く大腿直筋の活動がトレーニング経過に伴って増加する傾向、さらに伸張反射感受性の過剰亢進によって生じるとされる遊脚期後半の一過性の大腿二頭筋の活動がトレーニング後に減弱する傾向を認めるとともに、下肢筋群全般にわたって痙性麻痺の減少を示唆する変化を認めた。

### D. 考察

上記の歩行機能回復を示す実験結果は、

- ① 動力歩行装具による受動歩行中の繰り返しの求心性感覚情報が脊髄歩行中枢の活動を喚起したことに起因するもの、
  - ② 脊髄歩行中枢による歩行のリズム生成は、歩行運動を構成する基本的要素であり、随意運動出力の改善とあいまって、歩行動作の改善と安定性をもたらしたもの、
- と考えられた。

本研究を通して多くの運動機能障害者が効果的な歩行リハビリテーションを行う環境を整備することが可能となるものと考えられる。

### E. 結論

本研究を通して歩行機能再獲得の神経機序の解明と、効果的に歩行再獲得を促す具体的方法についての知見が得られた。今後は、本研究の成果を発展させ、脊髄損傷者の歩行機能再獲得のために具体的な方法論の提示を検討していく必要がある。

### F. 健康危険情報

特になし

### G. 研究発表

#### 1. 論文発表

- ・ Nakajima T, Kitamura T, Kamibayashi K, Komiya ma T, Zehr EP, Hundza SR, Nakazawa K. Roboti c-assisted stepping modulates monosynaptic r

- eflexes in forearm muscles in the human. Journal of Neurophysiology, 106 : 1679-87, 2011
- ・ 赤居正美. 物性・構造の” Manufacturing” - 人体の組織改編を人為的に起こす(第 48 回日本リハビリテーション医学会学術集会会長講演), Japanese Journal of Rehabilitation Medicine 49(2): 63-66, 2012

#### 2. 学会発表

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

- ・ Ogata T. Hopes and issues of robotic devices in rehabilitation for motor functions. International Symposium of Medical devices 2011, Korea, 2011-09-30.
- ・ Ogata T. pNF-H as a biomarker for evaluating severity of acute spinal cord injury patients. The 6th Beijing International Forum on Rehabilitation, Beijing, 2011-10-21/10-23.
- ・ Morioka K, Tazoe T, Endo T, Hayakawa K, Okazaki R, Kawaguchi H, Nakamura K, Ogata T. Load-related afferents assume a critical role in the recovery of locomotor function after spinal cord injury. Neuroscience 2011, Washington DC, 2011-11-12/11-16. Proceedings, 2011, Online. No.705.10/TT12.

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

1. 特許取得  
無
2. 実用新案登録  
無
3. その他

脊髄損傷後歩行機能再獲得のための神経リハビリテーション方法の開発

研究分担者 緒方 徹 国立障害者リハビリテーションセンター研究所 部長

研究要旨

近年、神経科学領域で注目されている脊髄可塑性、脊髄CPGの知見を基盤とし、科学的根拠に立脚したあらたな神経リハビリテーション (neurorehabilitation) 方法の構築を目指す。本研究では、脊髄における組織破壊に由来する微量物質 (バイオマーカー) を指標に組織損傷の程度を推測し、臨床的機能予後との関連を検討する。

A. 研究目的

体重免荷によるトレッドミル歩行は「正常な歩行動作を再現することにより種々の求心性感覚入力を脊髄CPGに与え、その活動を改善する」という理論的基盤をもつ。しかし、実際のところ歩行機能の再獲得に至る神経生理学的機序は未だ明らかではない。それ以上のメカニズムが明らかでないことと共に、訓練方法 (Lokomatの使用法も含め) にもばらつきがある。その背景として、受傷後1年以内の訓練効果には自然回復の影響があり、他の訓練効果と識別しにくいこと、逆に受傷後1年以上であると訓練効果が出にくいことも考えられる。したがって、ここでは自然回復の関与分を明らかにするべく、定量的な機能的予後推測法を開発する。2年目までの結果から脊髄の組織破壊に伴って血液中に放出される神経軸索構成蛋白pNF-Hが血液中で測定可能であり、頸髄損傷症例においても検出可能であることを明らかにした。3年目は検出された血中pNF-Hの濃度が脊髄損傷の重症度と関連しているかを動物実験およびヒト臨床研究によって検討した。

B. 研究方法

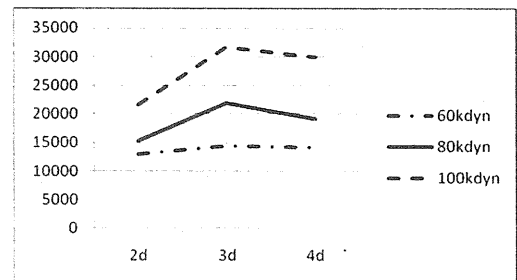
まず、マウス脊髄損傷モデルにおいて重症度の異なる脊髄損傷を実験的に作成し、損傷後の末梢血液を時間経過を追って採取した。得られた血液をELISA法によって解析しpNF-H濃度を測定するとともに、マウスが示す歩行運動機能を評価した。

ヒト臨床サンプルは急性期病院との共同研究により新規脊髄損傷症例14例からの経時的採血を行った。採血時期は受傷後6, 12, 18, 24時間と2, 3, 4, 7, 14, 21日目とした。臨床症状はASIA impairment scaleを用いて受傷時点と観察最終時点で行った。明かな頭部外傷症例は除外した。

C. 研究結果

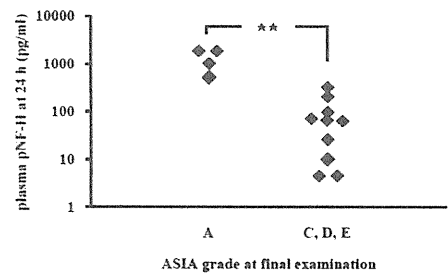
重症度の異なるマウス脊髄損傷実験からは、いずれの重症度に置いても受傷3日目に血中pNF-H値がピークを示した。そして、そのピーク値は重症度を増していくに従って高値になって行くことが明らかとなった。すなわち、血中pNF-H濃度は損傷によって壊れた神経組織量を反映し、pNF-H値が高いことは壊れた神経組織が多い、すなわち重症度の高い損傷の存在を示唆していると考えた。(図1)。

図1



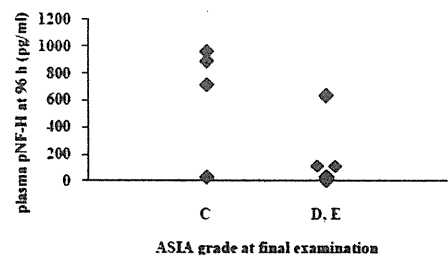
次に、頸髄損傷症例における重症度とpNF-H値の関係を観察したところ、もっとも重症度の重い完全麻痺 (AIS A) の症例はその他の不全麻痺症例と比較し統計的に有意にpNF-Hが高くなっていることが示された。ヒト脊髄損傷例でのpNF-Hはマウス・ラットと異なり3日目がピークとならず、3日目以降も上昇する傾向があり、pNF-Hの比較は受傷後24時間と96時間で行った(図2)。

図2



さらに不全麻痺症例について詳細な解析を行った。今回の調査では症例数が不足していることもあって、統計的な有意差は得られなかったが、AIS CとDの症例 (Cは自立歩行不能でDは可能) での比較では、より重症なAIS C群でpNF-H値が高値を示す傾向が見られた(図3)。

図3



#### D. 考察

動物実験モデルでもヒト臨床例でも脊髄損傷後の血中pNF-H値は重症度を反映して高値を示すと考えられる。今後のpNF-Hの臨床現場での有用性を検討していく上で、不全麻痺症例の中で歩行自立例と自立不能例とを早期に見分ける手段としての利用法が考えられる。そのためには多施設による症例収集と予後調査が必要になる。

#### E. 結論

今後、受傷後のpNF-H濃度がヒト脊髄損傷例の予後推定に有用であるかを検討するうえで、貴重な資料となるものと考えられる。

#### F. 健康危険情報

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

・ Hayakawa K, Okazaki R, Ishii K, Ueno T, Izawa N, Tanaka Y, Toyooka S, Matsuoka N, Morioka K, Ohori Y, Nakamura K, Akai M, Tobimatsu Y, Hamabe Y, Ogata T. Phosphorylated neurofilament subunit NF-H as a biomarker for evaluating the severity of spinal cord injury patients, a pilot study. Spinal Cord (Epub ahead of print)

##### 2. 発表

特になし

#### F. 知的財産権の出願・登録状況

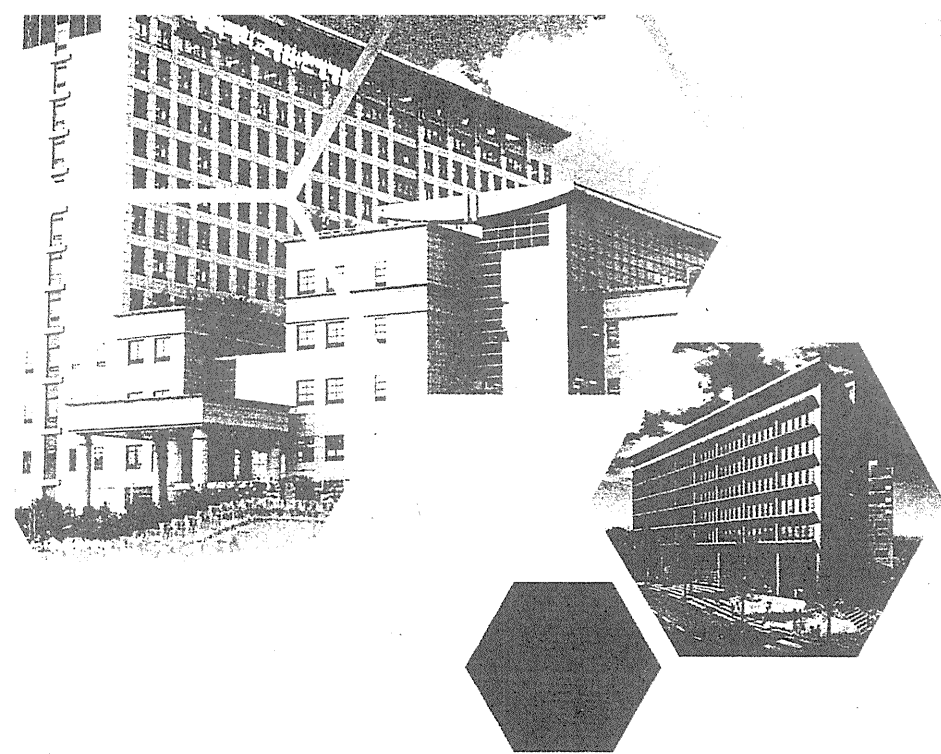
##### 1. 特許取得

特になし

##### 2. 実用新案登録

特になし

##### 3. その他



**2011**

# International Symposium of Medical Devices

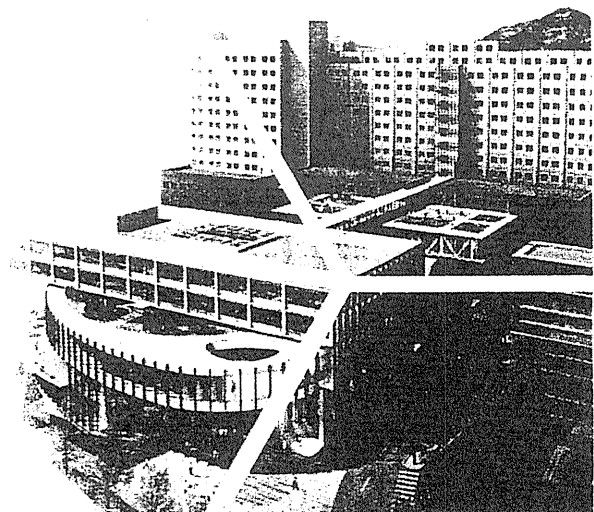
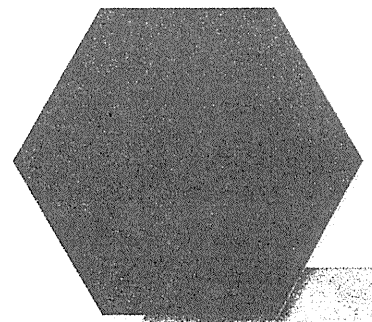
## Current Issues on Medical Robots & Clinical Evaluations


The main auditorium of Yeungnam University Hospital, Daegu, Korea

September 30, 2011.

Co-sponsored by


Clinical Trial Center for Medical Devices of  
Yeungnam university Hospital  
Dongguk Medical Device Innovation Center




 CLINICAL TRIAL CENTER  
FOR MEDICAL DEVICES  
OF YEUNGNAM UNIVERSITY HOSPITAL

 **dongguk**  
UNIVERSITY






# Program




Time	Title	Speaker
<b>Moderator : Joon Ha Lee (YU-MDCTC /Vice-director)</b>		
09:30 ~ 10:00	• Registration and welcome coffee	
10:00 ~ 10:10	• Opening address	Sang Ho Ahn / Clinical Trial Center for Medical Devices(MDCTC) of Yeungnam University Hospital / Director
10:10 ~ 10:15	• Welcome address	Ha Jung Ok /Vice President for Medical Affairs of Yeungnam University and Director of Yeungnam University Medical Center
10:15 ~ 10:20	• Congratulatory address	Sang Gil Lee / Director General of High-tech Medical Cluster Promotion Bureau
10:20 ~ 10:40	• The role of YU-MDCTC in supporting clinical trials for medical devices	Sang Ho Ahn / MDCTC of Yeungnam University Hospital / Director
10:40 ~ 11:00	• Strategies of Medical Device Innovation on DMIC	Sung Min Kim / Dongguk Univ. Medical Device Innovation Center / Director
<b>Session I : Global trends in rehabilitation robotics and clinical outcome measures.</b>		
		Yong Jin Kim / Yeungnam Univ. College of Medicine / Professor
		Jong Baek Park / Daegu Gyeongbuk Medical Innovation Foundation / Head of Medical Device Dev. Center
11:00 ~ 11:50	• Outcome measure of cognitive function and performance in individuals with stroke, spinal cord injury and traumatic brain injury	Allen W. Heinemann (Center for Rehabilitation Outcomes Research of RIC / Director)
11:50 ~ 12:40	• Hopes and issues of robotic devices in rehabilitation for motor functions	Toru Ogata (National Rehabilitation Center in Japan / Director of Department of Rehabilitation for the Movement Functions)
12:40 ~ 13:30	Lunch Break	
<b>Session II : Examples of developing medical robots and rehabilitation devices in Korea.</b>		
		Myun Whan Ahn / Yeungnam Univ. College of Medicine / Professor
		Sung Min Kim / Dongguk Univ. Medical Device Innovation Center / Director
13:30 ~ 14:00	• Robotic Surgery, Present and Future	Young Woo Kim / National Cancer Center(Center for Gastric Cancer) / Head
14:00 ~ 14:30	• Research and Development of Rehabilitation medical devices in KOREC	Jei Cheong Ryu / Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center(KOREC)/ Research Director
14:30 ~ 14:50	Coffee Break	
14:50 ~ 15:20	• Promotional Strategies & perspectives of Korean Medical Robot	Woo Jin Hyung /Yonsei Univ. College of Medicine / Associate Professor
15:20 ~ 15:50	• Current and Future Issues on Elderly-Friendly Rehabilitation Medical Device	Bum Sun Kwon / Dongguk Univ. Medical Center / Professor
15:50 ~ 16:00	• Group Photo & Closing Remark	Sung Min Kim / Dongguk Univ. Medical Device Innovation Center / Director

International Symposium of Medical Devices 2011 30/9/2011 Daegu, Korea




## Hopes and issues of robotic devices in rehabilitation for motor functions

Toru Ogata  
Department of Rehabilitation for Movement Functions  
Research Institute, National Rehabilitation Center



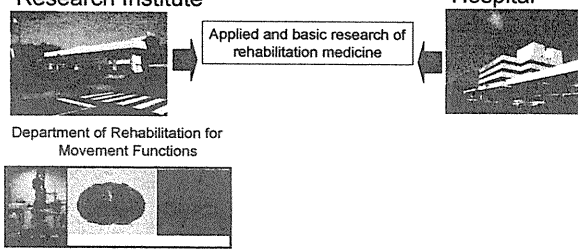
National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities



Research Institute      Hospital

Applied and basic research of rehabilitation medicine

Department of Rehabilitation for Movement Functions



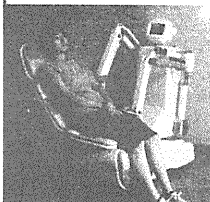
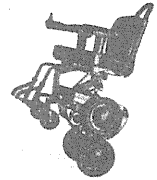
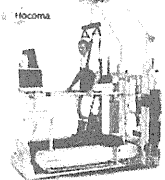
### Robot technology in rehabilitation field

- As assistive devices for people work in welfare field
  - Prevent work-related disorders
- As assistive devices for persons with disabilities
  - Replace the lost functions
- As training devices
  - Facilitate the recovery of damaged functions

Care robot "assist for caretaker"

Motorized wheel chair "assistive device for mobility"

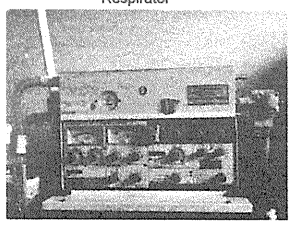
Driven Robotic Gait training "training device for locomotion"

Japan LogitecMachine      Independence Technology      Hocoma

### One of the most successful device in medical field

Respirator



For those who lost respiratory functions, such as ALS patients

The machine replace the respiratory function : "Volume control mode"

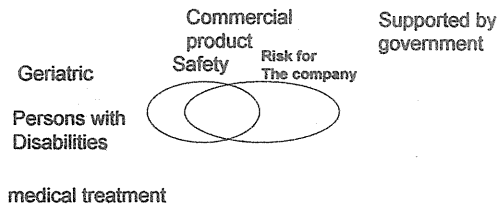
For those who are in recovery phase after respiratory failure due to pneumonia

The machine trains respiratory function : "Pressure support mode"

### Social systems in Japan

- As assistive devices for people in welfare
  - Prevent work-related disorders
- As assistive devices
  - Replace the lost functions
  - Geriatric
  - Elder care insurance
  - Persons with disabilities
  - Welfare Supporting system
- As training devices
  - Facilitate the recovery of damaged functions
  - medical treatment

## Possibility and requirement for robotic devices



What is risk for the company to make robotic device in welfare field

1. The product does not make good sales.

The outcomes of the device is not satisfactory for users.

Too expensive.

2. The accidents related to the device.

The reputation of the company would be damaged.

The compensatory payment.

## Issues in how to make "profitable devices"

The outcomes of the device is not satisfactory for users.

Because....

Many high-tech machines missed the chance to be commercialized because of the mismatch of needs and technology.

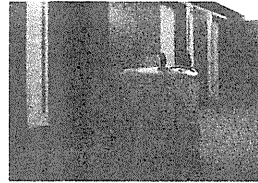


wakamaru; Mitsubishi Heavy Industry

Home-use robot which can do things we expect for future.  
Recognize 10 individuals and give information via network.  
Keeping eyes on elderly persons.  
House keeping.  
On sale from 2005 at \$20,000.  
.....but not prevailed in personal houses.

## Successful robot (not in welfare field)

Cleaning machine for buildings



RFS1: Fuji Heavy Industry, \$200,000  
Specific marketing strategy.  
The company surveyed the conditions of buildings,  
which can get benefit from RFS1.

## Safety issues in robotic devices

Product Liability Law :

The company is responsible for their products.

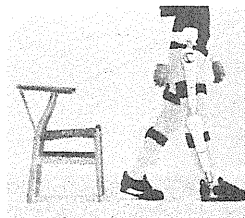
To establish the standard for safety to be achieved (now on going)

To restrict the occasion of usage. Under supervision by experts.

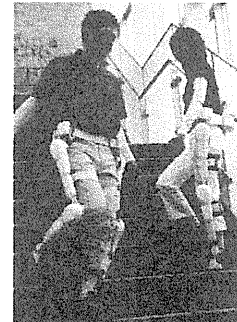
To make the products prescribed by hospital or authorities.

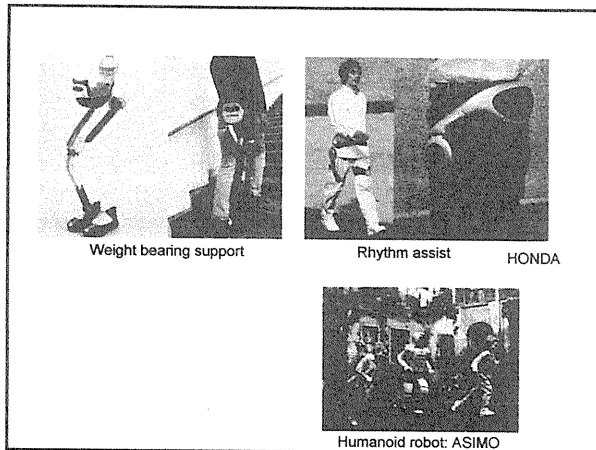
## What about assistive device for locomotion

### Wearable robotic assistive devices



HAL: Cyberdyne





### Hybrid Assistive Limb (HAL)

Robot suit developed by Dr. Sankai, Tsukuba Univ..  
Dr. Sankai founded Cyberdyne to produce HAL for commercial.

Basic function

### Present situation of HAL

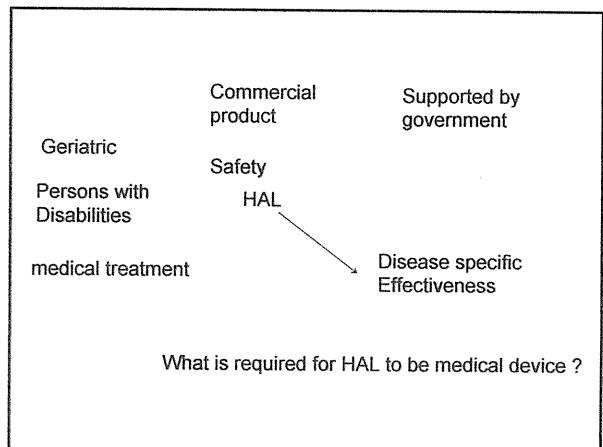
Robot suit HAL for Well-being

One Leg type or Two Leg type  
Three sizes, 12 kg  
Introduced into institute, not to individuals, for rent.  
Cost 2,000 US\$ per month  
More than 200 HAL are now used in Japan

Types of institute

- Hospital : about 50 (including several university hospital)
- Nursing home : about 10

Hospital pay the cost



### HAL in medical treatment

Targeted disease : stroke, spinal cord injury, degenerative disease of muscle and nerves

Positive opinion: HAL inspires the motivation for ambulation  
HAL reminds how to walk.

Negative opinion: For patients in recovery phase, assist is not always beneficial  
It could deprive the chance of spontaneous motor recovery.  
No evidence for the effect on neurological functions.

### Possible clinical trial to prove effectiveness of HAL

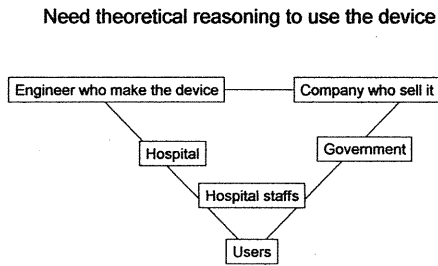
- 1) Subjects would be (stroke) patients in chronic phase, who have finished standard rehabilitation.
- 2) Selected patients who are in recovery phase. The choice would be based on the knowledge from the previous step.
- 3) Retrospective study
- 4) Randomized clinical trail for patients in recovery phase

The functional results do not have to be better than standard rehabilitation, if HAL provide some other benefit.

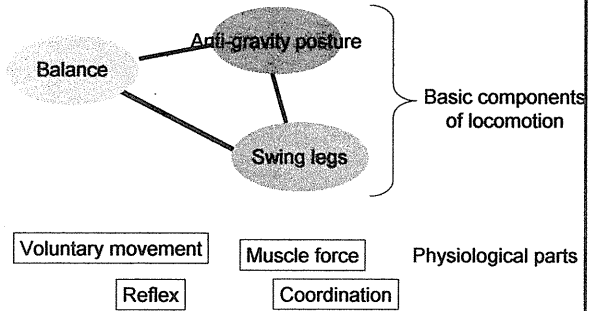
Such as

- Reduce hospitalization period
- Save man-power
- Reduce total cost

Contribution of medical staff  
Not only medical doctor, but also physiotherapist and coordinator



### Theory of Gait training

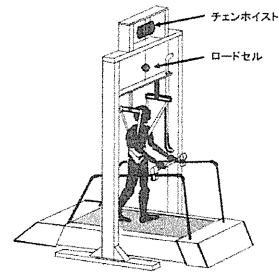


### Gait in incomplete spinal cord injury patients



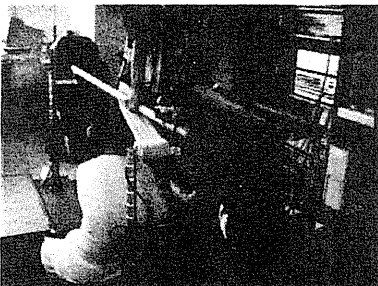
From home page of Hocoma

### Body Weight Supported Treadmill (BWST) Training



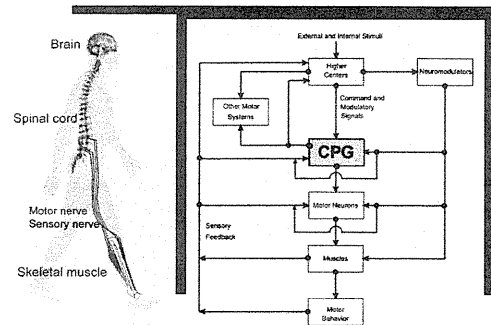
Genda E, (2005)

### Body Weight Supported Treadmill (BWST) Training

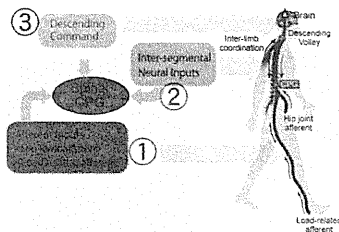


From home page of Hocoma

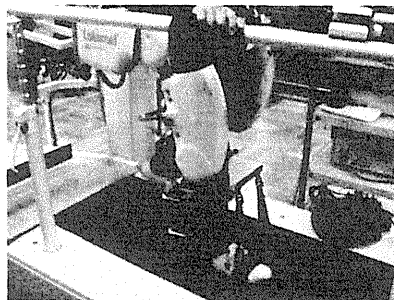
### Background of BWSTT "Central Pattern Generator"



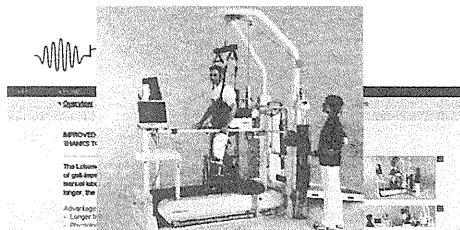
## Approach to facilitate CPG activation



## Driven Gait Orthosis (DGO) "Lokomat"



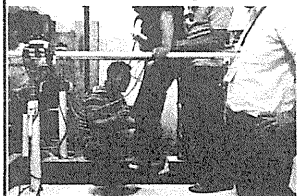
## Lokomat (Hocoma AG, Switzerland)



- Advantages of the Lokomat System compared with manually assisted treadmill training:
- Longer training sessions, for more rapid progress
  - Physiological gait patterns that can be monitored
  - Physical strain on therapists is relieved
  - Effective for patients who have suffered stroke, traumatic brain injury and paralysis due to spinal cord injury
  - Kinematic patterns and levels of assistance are adjustable providing just as much assistance as needed

## Lokomat in our institute

Pre-training



After 3 month training



## Clinical report about Lokomat

Wirz et al., Arch Phys Med Rehabil, 2005

### Effectiveness of Automated Locomotor Training in Patients With Chronic Incomplete Spinal Cord Injury: A Multicenter Trial

Markus Wirz, PT, David H. Zeman, MSPT, Ruediger Rupp, PhD, Anke Scheel, PT, Gery Colombo, PhD, Volker Dietz, MD, T. George Hornby, PT, PhD

**ABSTRACT:** Wirz M, Zeman DH, Rupp R, Scheel A, Colombo G, Dietz V, Hornby TG. Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: a multicenter trial. Arch Phys Med Rehabil 2005; 86:972-980.

**Objective:** To determine whether automated locomotor training with a driven-gait orthosis (DGO) can increase functional mobility in people with chronic, motor incomplete spinal cord injury (SCI).

**Design:** Repeated assessment of the same patients or single-case experimental A-B design.

**Setting:** Research units of rehabilitation hospitals in Chicago, Heidelberg, Germany, and Basel and Zurich, Switzerland.

**Participants:** Twenty patients with a chronic (>25 post-injury), motor incomplete SCI, classified by the American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale with ASIA grades C (n=9) and D (n=11) injury. Most patients (n=16) were ambulatory before locomotor training.

**Intervention:** Locomotor training was provided using robotic-assisted body weight-supported treadmill training 3 to 5 times a week over 8 weeks. Single training sessions lasted up to 45 minutes of total walking time, with gait speed between 0.1 and 0.4 m/s and body weight support of 10% to 30%.

lation between improvements in walking speed or changes in muscle strength or spastic motor behaviors.

**Conclusions:** Intensive locomotor training on a treadmill with the assistance of a DGO results in improved overground walking.

**Key Words:** Locomotion; Paralysis; Physical therapy; Rehabilitation.

© 2005 by American Congress of Rehabilitation Medicine and the American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation

**MORE THAN 8000 PEOPLE** suffer a traumatic spinal cord injury (SCI) each year in the United States.<sup>1</sup> Recent statistics indicate that more than 50% of people with SCI have motor incomplete lesions. Approximately half of motor recovery occurs within the first 2 months after initial injury,<sup>2-4</sup> with a decreasing rate after 3 to 6 months. At 2 years after injury, neurologic recovery is assumed to be nearly complete.<sup>5,6</sup> In patients with an initial motor incomplete SCI, more than 75% regain some form of ambulatory function.<sup>7</sup>

Although conventional rehabilitative programs enhance performance of functional tasks,<sup>8</sup> the loss of strength and coord-

## Systematic review of Body weight-supported treadmill training

J Rehabil Med 2010; 42: 513-519

### REVIEW ARTICLE

#### BODY WEIGHT-SUPPORTED GAIT TRAINING FOR RESTORATION OF WALKING IN PEOPLE WITH AN INCOMPLETE SPINAL CORD INJURY: A SYSTEMATIC REVIEW

Monique Wessels, MSc<sup>1</sup>, Cees Lucas, PhD<sup>2</sup>, Inge Eriks, MD<sup>3,4</sup> and Sonja de Groot, PhD<sup>1,4</sup>

From the <sup>1</sup>Rehabilitation Centre Amsterdam, <sup>2</sup>Department of Clinical Epidemiology and Biostatistics, Academic Medical Centre, University of Amsterdam, The Netherlands; <sup>3</sup>Swiss Paraplegic Research, Nottwil, Switzerland and <sup>4</sup>Centre for Human Movement Science, University Medical Centre Groningen, University of Groningen, The Netherlands

**Objective:** To evaluate the effect of body weight-supported gait training on restoration of walking, activities of daily living, and quality of life in persons with an incomplete spinal cord injury by a systematic review of the literature.

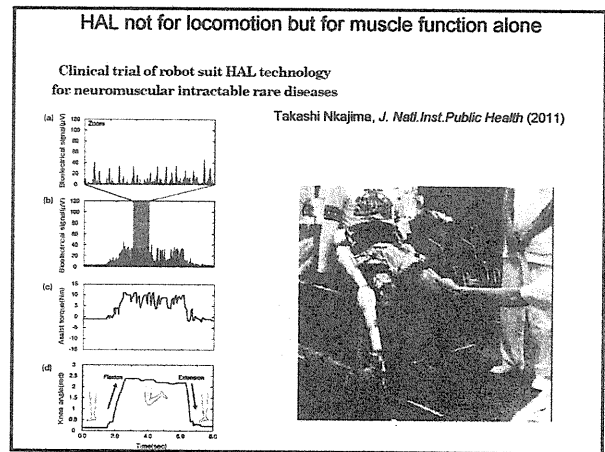
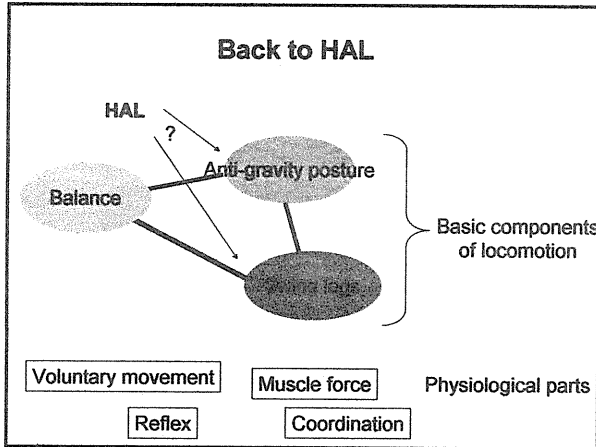
**Methods:** Cochrane, MEDLINE, EMBASE, CINAHL, PEDro, DierDalla were searched and identified studies were assessed for eligibility and methodological quality and de-

### INTRODUCTION

A spinal cord injury (SCI) is a devastating condition with a major impact on a person's life. Incomplete or complete paralysis of the lower limbs makes walking difficult or even impossible (1) and so daily activity can be taken for granted (2).

Estimates of the incidence of SCI vary widely. An annual incidence of between 15 and 30 per million inhabitants was reported for most countries (3), with the highest incidence between 20 and 40 years of age (4). Improvement of the quality of care for persons with acute and subacute SCI has resulted

**Results:** Eighteen articles (17 studies) were included. Two



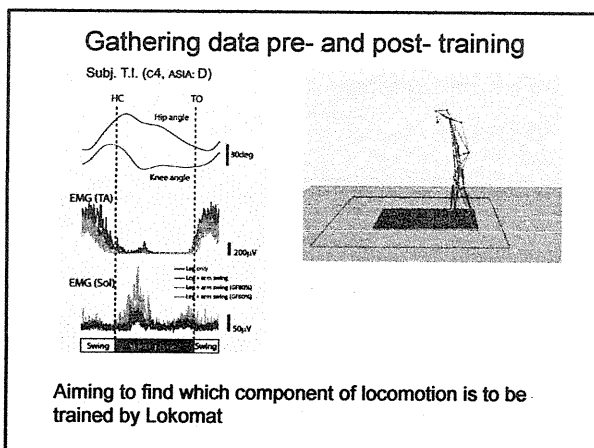
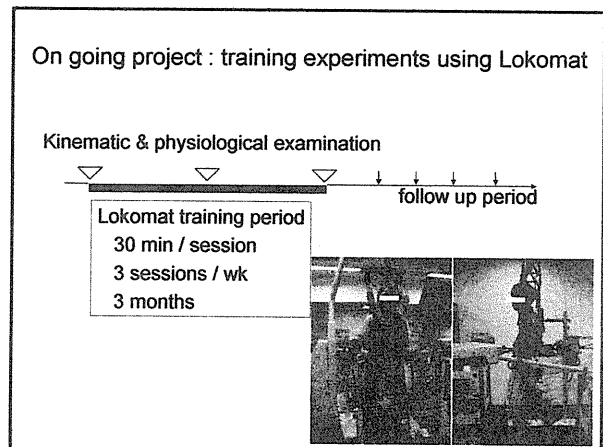
### Summarize about Locomotion assistive devices

The device have to fulfill the general requirement for devices in welfare

- Safety
- Cost

To prevail the device in medial market

It should be recognized as "therapeutic device" with price to use it in hospital.  
The therapeutic target (neural component) should be clarified for clinician to persuade them to use the device



### After Lokomat... for future vision

Identify good application of this approach

Use combination of some devices which are not so expensive

"EasyStand Organizer" + simple device

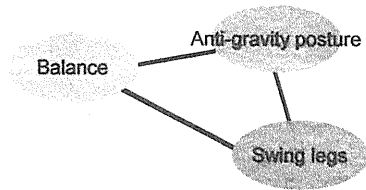
### Summary 1

General concern about development of robotic devices in rehabilitation field

Either high-tech oriented or user oriented

### Summary 2

As for locomotion



Devices are used to complete the purpose.  
Flexible usability will be important.

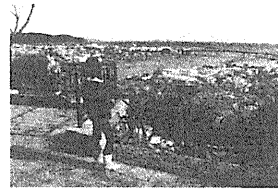
### Take home message

Robotic devices may not only replace the function of human,

But also change the endogenous functions.

In the attempt to use devices in medical treatment, such effects have to be considered in disease specific (not disability specific) context.

*Thank you for your support*





## 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
Ogata T, Kawashima N, Nakazawa K, Akai M	Molecular and electrophysiologic approaches for functional recovery in patients with injured spinal cord	Kansaku K, Cohen LG (ed)	Systems neuroscience and rehabilitation	Springer	東京	2010	p. 69-78

## 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
Nakajima T, Kitamura T, Kamibayashi K, Komiyama T, Zehr EP, Hundza SR, Nakazawa K	Robotic-assisted stepping modulates mono-synaptic reflexes in forearm muscles in the human	Journal of Neurophysiology	106	1679-1687	2011
赤居正美	物性・構造の”Manufacturing” - 人体の組織改編を人為的に起こす (第48回日本リハビリテーション医学会学術集会会長講演)	Japanese Journal of Rehabilitation Medicine	49(2)	63-66	2012
Hayakawa K, Okazaki R, Ishii K, Ueno T, Izawa N, Tanaka Y, Toyooka S, Matsuo N, Morioka K, Ohori Y, Nakamura K, Akai M, Tobimatsu Y, Hamabe Y, Ogata T	Phosphorylated neurofilament subunit NF-H (pNF-H) as a biomarker for evaluating severity of spinal cord injury patients, a pilot study.	Spinal Cord			e-pub

# 研究成果の刊行物

Kenji Kansaku  
Leonardo G. Cohen  
*Editors*

# Systems Neuroscience and Rehabilitation

 Springer

# Molecular and Electrophysiological Approaches for Functional Recovery in Patients with Injured Spinal Cord

Toru Ogata, Noritaka Kawashima, Kimitaka Nakazawa, and Masami Akai

**Abstract** Because patients with an injured spinal cord face severe functional deficits, novel therapeutic approaches are required to treat this traumatic disorder. Recent advances in molecular biology and electrophysiology have rendered approaches based on these two subjects important in this field. A molecular approach involving tissue engineering is beneficial for preserving or restoring the neural circuit, i.e., the so-called “hardware” of the spinal cord. On the other hand, the electrophysiological approach has advantages such as modulation and analysis of use-dependent plastic changes in neural functioning of human subjects, which corresponds to the “software” of the spinal cord. Because varied biological processes are triggered after spinal cord injury, we should use either approach, or both, depending on the clinical problem that needs to be solved.

## Hardware and Software of Spinal Cord Injury

In Japan, about 4,000 new cases of spinal cord injury (SCI) have been reported. Because of advances in medical treatment for the acute and chronic phase of this traumatic disorder, the mortality rate among patients with SCI has declined. However, there are increasing numbers of patients with SCI who face severe sensory and motor functional deficits for the rest of their lives. Therefore, the development of novel therapeutic approaches for functional recovery of patients with SCI is essential for not only the patients and their families but also for socio-economic reasons.

---

T. Ogata (✉) · N. Kawashima · K. Nakazawa · M. Akai  
Department of Rehabilitation for Movement Functions,  
Research Institute of National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities (NRCD),  
4-1 Namiki, Tokorozawa, Saitama 359-8555, Japan  
e-mail: ogata-toru@rehab.go.jp

K. Kansaku and L.G. Cohen (eds.), *Systems Neuroscience and Rehabilitation*,  
DOI 10.1007/978-4-431-54008-3\_5, © Springer 2011