

# 재활치료에서 로봇의 이용

장 민 철 · 전 민 호 | 울산대학교 의과대학 서울아산병원 재활의학과

## Use of robots in rehabilitative treatment

Min Cheol Chang, MD · Min Ho Chun, MD

Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul, Korea

Recently, rehabilitation robotics technology has advanced, and several therapeutic robots have been developed. Robot-assisted rehabilitation therapy has a number of advantages over manual physical therapy. It can relieve the physical therapist from the strenuous task of manual assistance and provide high-dosage and high-intensity training. Therapeutic rehabilitation robots include end-effector and exoskeleton types, which are mainly applied for rehabilitation of upper extremity motor dysfunction or gait disturbance. In addition, they are used for patients with stroke, traumatic brain injury, spinal cord injury, parkinsonism, and cerebral palsy. Several studies have reported that robot-assisted therapy has a beneficial effect on motor function in patients with impaired motor function, either alone or as an additional therapeutic tool in combination with conventional rehabilitation therapy. We believe that ongoing improvement in robotic technology will help to overcome the disadvantages of conventional rehabilitation therapy and to optimize rehabilitation therapies for disabled patients.

**Key Words:** Robotics; Rehabilitation; Robot-assisted therapy

### 서론

각종 질병 및 사고로 인하여 발생한 장애는 환자의 신체적 기능을 떨어뜨리고 독립적인 일상생활을 유지할 수 있는 능력을 감소시키므로, 장애가 있는 환자에게는 남아 있는 신체적 능력을 최대한 회복시키는 재활치료가 필요하다. 특히 한국에서는 최근 노령인구가 급격하게 증가함에 따라 각종 질병 및 사고가 증가하고 있고, 이에 따라 재활 치료가 필요

한 대상이 많아 지고 있다[1]. 지금까지 재활치료는 치료사에 의해 시행되어 왔고 이 재활치료는 장시간 반복적으로 이루어지므로, 재활치료에는 치료사의 많은 육체적 노력이 필요하다. 또한, 보행장애가 있는 환자에게 안전한 보행훈련을 반복적으로 실시하기 위해서는 두세 명의 숙련된 물리치료가 필요하고, 중증의 근력약화가 있는 환자에게는 도수적 보행훈련을 실시하는 것이 거의 불가능하다.

최근 첨단기술의 비약적인 발전으로 로봇기술이 재활치료 분야에도 확대되고 있다[2]. 지금까지 유럽과 미국 등의 선진국을 중심으로 재활로봇이 활발하게 연구되어 왔으며, 국내에서는 한국과학기술연구원, 한국생산기술원 및 여러 대학에서 재활로봇이 개발되고 연구되었다. 재활로봇은 치료사의 육체적 노력과 시간을 줄이고, 치료사의 체력적인 부담 없이 정밀하고 일관적인 치료를 제공할 수 있어 재활치료의 효율과 질을 향상시킬 것으로 기대된다. 뿐만 아니라, 재활

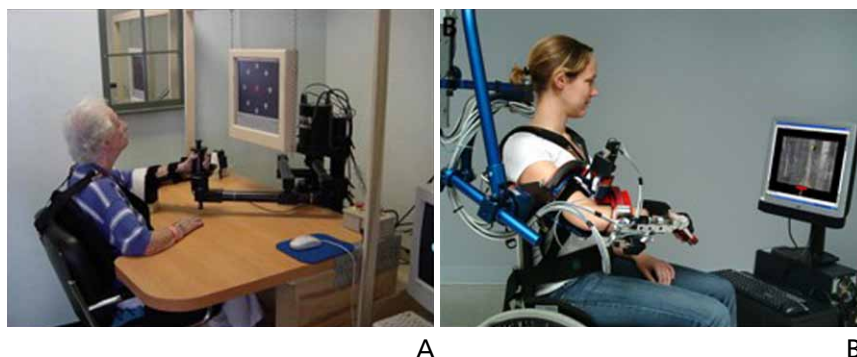
Received: September 6, 2014 Accepted: September 20, 2014

Corresponding author: Min Ho Chun

E-mail: mhchun0@gmail.com

© Korean Medical Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



**Figure 1.** Robot assisted upper limb training using (A) MIT MANUS and (B) ARMin (From Krebs HI, et al. J Neuroeng Rehabil 2004;1:5, according to the Creative Commons license) [6].

로봇을 이용한 재활치료는 간단한 조작을 통해 다양한 치료 프로그램을 제공할 수 있으며, 매번 치료의 결과를 측정 또는 저장할 수도 있다는 장점이 있다.

재활로봇에는 치료용 재활로봇과 보조용 재활로봇이 있다. 치료용 재활로봇은 환자의 재활치료를 목적으로 사용되는 로봇으로 상체와 하체의 근력향상 및 기능향상을 위한 재활훈련을 돕는다[3]. 현재 치료용 재활로봇은 뇌졸중, 외상성 뇌손상, 척수손상 등과 같이 신경계의 손상으로 인한 마비환자에게서 주로 사용되고 있다. 그리고, 보조용 재활로봇은 장애인이나 활동이 불편한 사람을 도와 일상생활을 독립적으로 할 수 있도록 보조하는 로봇이다[4].

이 글에서는 재활치료에 사용되고 있는 치료용 로봇에 초점을 맞추어 재활로봇의 종류와 재활로봇이 이용되고 있는 임상영역에 대해 설명하고자 한다.

## 재활로봇

치료용 재활로봇은 크게 말단장치로봇과 외골격로봇으로 나눌 수 있다[5]. 말단장치로봇은 환자의 상지나 하지의 어느 한 말단 부위에 착용하고, 로봇이 생성하는 힘에 의해서 움직인다. 말단장치 로봇은 착용이 쉽다는 장점이 있지만, 근위부 관절의 움직임이 제한되고 특정 관절의 단일 움직임이 어렵다는 단점이 있다. 반면에, 외골격로봇은 구조가 복잡하고 비용이 비싸다는 단점이 있지만, 사람의 상하지 각 관절 축과 유사하게 만들어져 각각의 관절을 분리해서 움직일 수 있도

록 해줌으로써 관절 움직임의 제한을 최소화 해주고 각 관절을 독립적으로 치료할 수 있게 해 준다는 장점이 있다.

### 1. 상지 재활로봇

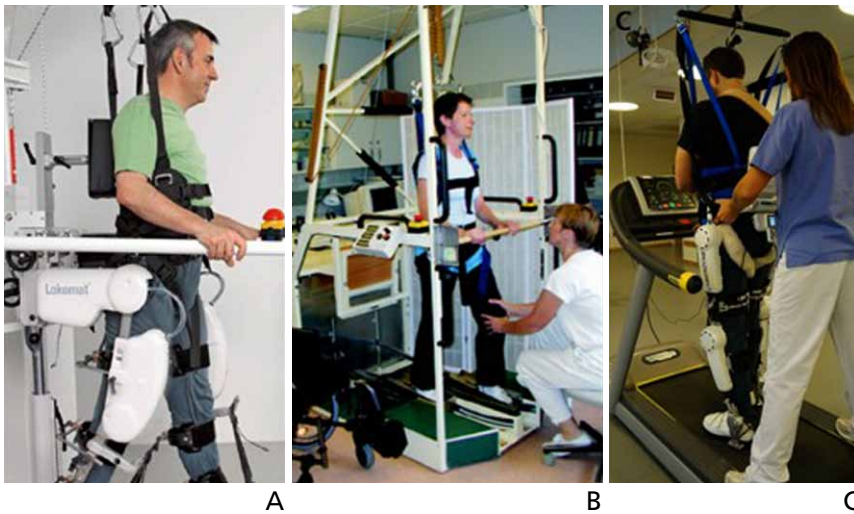
초기 상지 재활로봇은 말단장치 재활로봇의 형태로 주로 개발되었다. 대표적인 말단장치 상지 재활로봇으로는 MIT-MANUS/InMotion, Arm guide, REHAROB, NeReBot, InMotion 등

이 있다[5] (Figure 1) [6]. 하지만, 재활운동 시 관절의 움직임에 제한이 많아 최근에는 외골격 재활로봇이 많이 개발되고 있다. 외골격 상지 재활로봇으로는 CADEN7, RUPERT, T-Wrex, MGA Exoskeleton, ARMin, MEDARM 등이 치료에 활용되고 있다[7] (Figure 1) [6]. 지금까지 대부분의 상지 재활로봇은 상지의 반복적인 움직임을 유도하여 재활운동을 가능하게 하였다. 최근에는 일상생활과 관련된 움직임을 유도하여 실생활에 도움이 될 수 있는 방향으로 로봇이 개발되고 있다.

MIT-MANUS (Interactive Motion Technologies, Cambridge, MA, USA)는 가장 먼저 상용화된 대표적인 상지 재활로봇이며, 작동 방식은 테이블 위의 목표 지점을 모니터를 통하여 보고 원하는 지점까지 움직이는 방식이다. 각 환자의 수준에 맞게 프로그램 선택이 가능하고 능동, 능동보조, 수동운동이 가능하다. 그리고, 과거에는 근위부를 중점적으로 치료하는 로봇이 주로 만들어졌으나, 최근에는 뇌졸중 환자에게서 원위부 재활 치료의 중요성이 고려되어 원위부 기능회복에 초점을 맞춘 재활로봇도 개발되고 있다 [8]. 환자의 원위부를 중점적으로 훈련시키는 로봇으로는 Amadeo (Troymotion, Graz, Austria)가 있다. Amadeo은 손을 훈련시키는 말단장치로봇이고, 시각과 청각적 피드백과 제공해 준다[9].

### 2. 하지 재활로봇

보행은 운동장애가 있는 환자의 삶의 질과 밀접한 관련을 가질 뿐만 아니라 환자의 생존기간과도 관련성이 있으며



**Figure 2.** Robot assisted gait training using (A) Lokomat (From Schuck A, et al. J Neuroeng Rehabil 2012;9:31, according to the Creative Commons license) [11], (B) Gait Trainer GT1 (From Werner C, et al. Stroke 2002;33:2895-2901, according to the Creative Commons license) [12], and (C) hybrid assistive limb (From Nilsson A, et al. J Neuroeng Rehabil 2014;11:92, according to the Creative Commons license) [13].

로 보행의 회복 또는 유지를 위한 재활치료는 중요하다[10]. 하지만, 치료사에게 보행훈련은 낙상의 위험으로 인해 안정성 면에서는 부담스러운 훈련이고, 치료사가 환자에게 보행 훈련을 정상 보행패턴으로 지속적으로 시행하는 데는 제한이 있다. 로봇을 이용한 재활치료는 체중부하 장치를 통하여 훈련 시 안정성을 확보해 주고, 바른 보행패턴으로 지속적인 보행훈련을 가능하게 함으로써 치료사가 직접 시행하는 보행훈련의 단점을 보완해 준다. 이와 같은 이유로 현재까지 개발된 하지 재활로봇 중에서 보행훈련 로봇이 가장 많은 부분을 차지 한다.

보행훈련 로봇 또한 말단장치 재활로봇과 외골격 재활로봇으로 나눌 수 있다. 말단장치 하지 재활로봇으로는 발판 기반 보행트레이너인 Gait trainer, G-EO-system, Gait Trainer GT1, Gait Master 5 등이 있다[3] (Figure 2) [11-13]. 또한, 외골격 하지 재활로봇으로는 트레드밀 보행 트레이너인 Lokomat, LokoHelp, ReoAmbulator 등과 옷처럼 입을 수 있도록 제작된 지상 보행 트레이너인 HAL (hybrid assistive limb), ReWalk, KineAssist 등이 개발되어 보행 장애가 있는 환자에게 적용되고 있다[3] (Figure 2) [11-13]. 이중 스위스에서 개발된 보행보조로봇인 Lokomat (Hokoma AG, Zurich, Switzerland)이 상업적으로 가장 성공한 재활로봇이며 실제 임상에서 널리 사용되고 있다.

## 재활로봇의 이용

재활로봇은 뇌손상(뇌졸중, 외상성 뇌손상, 뇌종양 등), 척수손상, 파킨슨병 등, 뇌성마비 등으로 인하여 운동기능에 손상이 있는 환자들에게 주로 적용 되고 연구되고 있다. 이하 각각에 대하여 구체적으로 알아보기로 한다.

### 1. 뇌손상

재활로봇은 뇌졸중, 외상, 뇌종양 등으로 인한 뇌손상으로 인하여 운동기능이 손상된 환자에게 가장 많이 적용되고 있고, 그 치료 효과에 대한 연구도 가장

많이 되어있다. 뇌졸중 등으로 인한 뇌손상 후에 1/3의 환자에게 심한 운동장애가 후유증으로 남으므로, 뇌손상 환자에게는 운동기능 손상을 회복시키기 위한 적절한 재활치료가 필요하다[14]. 뇌손상 환자의 재활치료는 집중적이며 반복적인 능동 움직임에 초점을 맞추어야 하며, 손상된 측으로 과제수행 시 정확성, 근력, 기능성을 향상 시킬 수 있어야 한다. 로봇재활치료는 이러한 재활치료 원칙에 합당한 치료방법이다. 로봇을 이용한 재활치료는 치료사에 의한 기존의 재활치료를 대체하거나 보완 할 수 있는 치료로 여러 연구에서 보고 되고 있다[15-18].

2012년 코크란리뷰의 메타분석에는 재활로봇을 적용했을 때의 상지기능의 변화와 재활치료를 하지 않았거나 치료사가 재활치료를 한 후의 상지기능의 변화를 비교한 19개의 무작위대조군연구가 포함되었다[15]. 이 연구에서는 상지 재활로봇이 뇌졸중 환자의 상지기능과 일상생활 수행능력을 향상시키는 것으로 보고 되었다(standardized mean difference 0.45, 95% confidence interval, 0.20-0.69,  $P=0.0004$ ). Lo 등[16]의 연구에서는 127명의 만성뇌졸중 환자를 대상으로 로봇 재활치료와 치료사에 의한 기존의 재활치료를 나누어 시행하였을 때, 치료 후 12주에는 두 치료 간 상지기능 호전 정도에 차이가 없었지만, 치료 후 36주에는 로봇 재활치료를 받은 환자들이 더 높은 상지 운동기능

항상 정도를 보인 것으로 나타났다. 하지 재활로봇의 효과에 대해서는 지금까지 여러 연구에서 치료사에 의한 도수적 재활치료와 로봇 재활치료를 동일한 양으로 시행하였을 때, 도수적 재활치료가 효과가 높거나 두 치료 간의 효과 차이가 없는 결과를 보였다[18-20]. 하지만, Schwartz 등[17]의 연구에서 발병 후 3개월 된 67명의 뇌졸중 환자를 대상으로 연구했을 때, 기존의 도수적 보행치료와 로봇을 이용한 보행치료를 함께 시행한 환자에서 기존의 치료만을 시행한 환자에 비해 더 높은 보행기능의 향상을 보였다고 보고 되었다. 따라서, 뇌손상 환자에서 로봇 보행치료는 기존의 치료사에 의한 치료를 대체하여 시행하기 보다는 보완하여 같이 시행하는 것이 더 효과적이라고 할 수 있겠다. 또한, Hsieh 등[21]의 연구에서 고강도의 로봇 훈련이 낮은 강도의 훈련보다 운동기능을 더 많이 향상시켰다고 보고하였다. 따라서, 치료강도는 뇌손상 환자의 로봇 재활치료의 효과를 결정하는 중요한 요소라는 것을 알 수 있다. 이는 작업특이적 훈련을 반복적으로 높은 강도로 수 차례 시행했을 때 치료효과가 높아진다는 이전의 연구결과와도 일치한다.

이와 같이 뇌손상 환자에서 로봇 재활치료의 효과에 대해 여러 연구가 시행되었다. 하지만, 지금까지 시행된 로봇 재활치료의 효과에 대한 연구는 치료의 기간 및 정도와 환자의 상태 등을 일치시켜서 연구되지 않았으므로 각각의 연구 결과가 동일하게 나타나지 않았다는 한계를 가진다.

## 2. 척수손상

척수손상은 대부분 양측에 운동기능의 손상을 일으킴으로 운동능력이 심하게 손상되는 경우가 많고, 강직도 뇌손상과 비교하여 심하게 나타난다. 심한 운동능력의 손상과 강직도로 인하여 치료사가 척수손상 환자를 치료하는데 상당한 노동력이 필요하다. 따라서, 척수 손상에서의 로봇 재활치료는 손상된 기능을 회복시킬 뿐 아니라 노동력 측면에서 고려할 때 인력과 치료비용을 절감시킬 수 있을 것이다.

척수손상 환자들을 대상으로 한 로봇 재활치료의 운동기능 향상에 대한 연구는 뇌손상 환자들을 대상으로 한 연구에 비하여 미흡한 편이다. Cortes 등[22]이 10명의 만성경추손상 환자들을 대상으로 시행한 연구에서 InMotion 3.0

Wrist robot (Interactive Motion Technologies, Cambridge, MA, USA)을 주 3회씩 6주간 시행했을 때, 운동기능의 향상되고 경직이 감소 되었다고 보고하였다. 또한, Del-Ama 등[23]은 외골격 로봇을 3명의 불완전 척수손상 환자에게 착용하고 보행했을 때, 착용하지 않고 보행했을 때와 비교하여 보행기능이 향상 되었음을 보고하였고, Hoekstra 등[24]은 10명의 불완전 척수손상 환자에게 로봇(Lokomat)으로 보행 재활을 시행한 후에 심폐기능이 향상됨을 보고 하였다. 반면에, Labruyere와 van Hedel [25]은 9명의 만성 불완전 척수손상 환자를 두 군으로 나누어 각각 Lokomat 치료와 통상적으로 치료사가 시행하는 재활치료를 주 4회로 한달 동안 시행하였을 때, 두 군간에 치료효과의 차이가 없었다고 보고하였다. 척수손상 환자에서 로봇 재활치료의 효용성에 대해 결론을 내리기 위해서는 앞으로 더 많은 수의 환자를 대상으로 한 여러 연구들이 시행되어야 할 것이다.

## 3. 파킨슨병증

파킨슨병 환자에서 보행장애는 흔하게 발생하며, 파킨슨병 환자의 보행은 보폭이 좁고, 속도가 느리며, 걷는 중에 발을 끌고, 점점 움직임이 느려지거나 혹은 보행 중 속도가 빨라지는 가속 양상을 보이는 것이 특징이다[26]. 따라서, 보행기능 향상은 파킨슨병 재활에서의 주요 목표 중 하나이다. 파킨슨병 환자의 여러 보행치료방법 중에서 가장 효과적인 치료법에 대해서는 확실하게 정립되어 있지 않지만, 트레드밀을 이용한 실내 걷기운동은 보행속도, 보행거리, 보폭을 증가시키는 것으로 알려져 있어 파킨슨 재활치료에 많이 적용되고 있다[26]. 하지만, 균형 잡는 능력이나 보행능력이 중등도 이상 손상되어 있는 환자에서는 안정성과 적응력이 떨어지기 때문에 트레드밀 위에서 보행훈련을 시행하기 힘들다.

Picelli 등[27]은 34명의 중등도 이상의 파킨슨 환자를 두 군으로 나누어, 한 군에서는 Gait Trainer GT1으로 로봇 보행치료를 하고 다른 한군에서는 치료사가 직접 보행치료를 하게 하였다. 일주일에 3회씩 한달 동안 치료한 뒤에 로봇으로 보행치료를 한 군에서 자세 안정성이 더 향상된 것으로 나타났고, 이 효과는 한달 간 지속되었다. 한편, Picelli 등[26]은 증상이 경한 환자에서는 로봇 보행치료가 트레드밀



에서의 보행치료와 비교하여 유의한 장점이 없는 것으로 보고하였다. 따라서, 심한 파킨슨병 증상으로 인하여 트레드밀에서 보행치료가 불가능한 환자에게 로봇을 이용한 보행치료가 도움이 된다고 할 수 있겠다.

#### 4. 뇌성마비

뇌성마비란 발달 과정에서 뇌에 대한 손상으로 인하여 중추성 운동장애가 생긴 것으로 뇌성마비 환자들에게는 운동 능력과 자세에 문제가 나타난다[28]. 뇌성마비 환자의 치료 원칙은 환자의 사용 가능한 근력을 충분하게 사용하게 함으로써 충분한 발달 경험을 하게 해 주는 것이다[28]. 따라서, 환자의 운동기능을 향상시키기 위해서 높은 강도의 재활치료가 필요하다. 로봇을 이용한 재활치료는 환자가 한정된 시간 동안 특정 운동을 반복적으로 많이 시행할 수 있게 하므로 뇌성마비 치료원칙에 잘 맞는 치료방법이라고 할 수 있겠다. 또한, 비디오게임을 재활로봇에 접목시킴으로써 환자의 치료 순응도를 높일 수 있을 뿐만 아니라 즉각적인 피드백이 가능하도록 할 수도 있다. 소아용 Lokomat에는 환자 스스로가 걷기치료를 하면서 본인이 힘을 주는 만큼 가상의 캐릭터가 전진, 좌, 우를 움직이는 기능이 있다.

InMotion 2, AMADEO 등의 상지 재활로봇으로 뇌성마비 환자에게 재활치료를 시행했을 때, 상지기능이 향상되었음이 여러 연구에서 보고되었다[28,29]. 또한, Lokomat이나 Gait Training GT 1으로 보행훈련을 시행했을 때, 보행능력이 향상되었고 그 효과가 몇 달간 지속되는 것으로 나타났다[30]. 최근에는 가상현실을 접목시킨 로봇이 개발되고 있으며, 이는 환자의 치료참여도와 치료효과를 높일 수 있을 것으로 기대가 된다.

## 결론

최근 몇 년 동안 재활로봇 분야는 비약적으로 발전하였고 로봇 재활치료에 대한 관심과 중요성이 높아졌다. 하지만, 재활로봇을 구입하는 비용이 높고, 치료효과에 대한 데이터 구축이 아직 충분하게 되어있지 않아 임상적으로 사용

하는데 다소 제약이 있다. 향후 지속적으로 로봇기술은 발전될 것이고, 이는 재활로봇의 비용을 줄이고 로봇 재활치료의 효과를 더욱 향상시키게 될 것이다. 로봇 재활치료는 기존의 치료가 가지는 단점을 극복하고 재활치료의 효율과 질을 향상시켜 최적의 재활치료가 이루어지는데 도움이 될 것임에 틀림없다. 재활로봇기술의 발전을 위해서는 과학자들의 기술개발, 의료진의 임상연구, 기업과 국가적 차원의 투자가 조화를 이루는 것이 필요하며, 발전된 재활로봇기술은 재활치료의 발전에 큰 역할을 하게 될 것이라 믿는다.

#### 찾아보기말: 로봇; 재활; 로봇치료

#### ORCID

Min Cheol Chang, <http://orcid.org/0000-0002-7629-7213>

Min Ho Chun, <http://orcid.org/0000-0002-2075-6820>

#### REFERENCES

1. Hong KS, Bang OY, Kang DW, Yu KH, Bae HJ, Lee JS, Heo JH, Kwon SU, Oh CW, Lee BC, Kim JS, Yoon BW. Stroke statistics in Korea: part I. Epidemiology and risk factors: a report from the Korean stroke society and clinical research center for stroke. *J Stroke* 2013;15:2-20.
2. Esquenazi A, Packel A. Robotic-assisted gait training and restoration. *Am J Phys Med Rehabil* 2012;91:S217-S227.
3. Chun MH, Yi JH. Robotics in rehabilitation for patients with brain disease. *J Korean Med Assoc* 2013;56:23-29.
4. Lum PS, Godfrey SB, Brokaw EB, Holley RJ, Nichols D. Robotic approaches for rehabilitation of hand function after stroke. *Am J Phys Med Rehabil* 2012;91:S242-S254.
5. Lo HS, Xie SQ. Exoskeleton robots for upper-limb rehabilitation: state of the art and future prospects. *Med Eng Phys* 2012;34:261-268.
6. Krebs HI, Ferraro M, Buerger SP, Newbery MJ, Makiyama A, Sandmann M, Lynch D, Volpe BT, Hogan N. Rehabilitation robotics: pilot trial of a spatial extension for MIT-Manus. *J Neuroeng Rehabil* 2004;1:5.
7. Loureiro RC, Harwin WS, Nagai K, Johnson M. Advances in upper limb stroke rehabilitation: a technology push. *Med Biol Eng Comput* 2011;49:1103-1118.
8. Takahashi CD, Der-Yeghian L, Le V, Motiwala RR, Cramer SC. Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain* 2008;131:425-437.

9. Park JH. Effect of robot-assisted hand rehabilitation on hand function in chronic stroke patients. *J Korea Robot Soc* 2013;8:273-282.
10. Jang SH. The recovery of walking in stroke patients: a review. *Int J Rehabil Res* 2010;33:285-289.
11. Schuck A, Labruyere R, Vallery H, Riener R, Duschau-Wicke A. Feasibility and effects of patient-cooperative robot-aided gait training applied in a 4-week pilot trial. *J Neuroeng Rehabil* 2012; 9:31.
12. Werner C, Von Frankenberg S, Treig T, Konrad M, Hesse S. Treadmill training with partial body weight support and an electromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: a randomized crossover study. *Stroke* 2002;33:2895-2901.
13. Nilsson A, Vreede KS, Haglund V, Kawamoto H, Sankai Y, Borg J. Gait training early after stroke with a new exoskeleton: the hybrid assistive limb: a study of safety and feasibility. *J Neuroeng Rehabil* 2014;11:92.
14. Barker-Collo S, Feigin VL, Parag V, Lawes CM, Senior H. Auckland Stroke Outcomes Study. Part 2: Cognition and functional outcomes 5 years poststroke. *Neurology* 2010;75:1608-1616.
15. Mehrholz J, Hadrach A, Platz T, Kugler J, Pohl M. Electro-mechanical and robot-assisted arm training for improving generic activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2012;6:CD006876.
16. Lo AC, Guarino PD, Richards LG, Haselkorn JK, Wittenberg GF, Federman DG, Ringer RJ, Wagner TH, Krebs HI, Volpe BT, Bever CT Jr, Bravata DM, Duncan PW, Corn BH, Maffucci AD, Nadeau SE, Conroy SS, Powell JM, Huang GD, Peduzzi P. Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke. *N Engl J Med* 2010;362:1772-1783.
17. Schwartz I, Sajin A, Fisher I, Neeb M, Shochina M, Katz-Leurer M, Meiner Z. The effectiveness of locomotor therapy using robotic-assisted gait training in subacute stroke patients: a randomized controlled trial. *PM R* 2009;1:516-523.
18. Swinnen E, Beckwee D, Meeusen R, Baeyens JP, Kerckhofs E. Does robot-assisted gait rehabilitation improve balance in stroke patients? A systematic review. *Top Stroke Rehabil* 2014;21:87-100.
19. Dias D, Lains J, Pereira A, Nunes R, Caldas J, Amaral C, Pires S, Costa A, Alves P, Moreira M, Garrido N, Loureiro L. Can we improve gait skills in chronic hemiplegics? A randomised control trial with gait trainer. *Eura Medicophys* 2007;43:499-504.
20. Peurala SH, Tarkka IM, Pitkanen K, Sivenius J. The effectiveness of body weight-supported gait training and floor walking in patients with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:1557-1564.
21. Hsieh YW, Wu CY, Lin KC, Yao G, Wu KY, Chang YJ. Dose-response relationship of robot-assisted stroke motor rehabilitation: the impact of initial motor status. *Stroke* 2012;43:2729-2734.
22. Cortes M, Elder J, Rykman A, Murray L, Avedissian M, Stampa A, Thickbroom GW, Pascual-Leone A, Krebs HI, Valls-Sole J, Edwards DJ. Improved motor performance in chronic spinal cord injury following upper-limb robotic training. *NeuroRehabilitation* 2013;33:57-65.
23. Del-Ama AJ, Gil-Agudo A, Pons JL, Moreno JC. Hybrid gait training with an overground robot for people with incomplete spinal cord injury: a pilot study. *Front Hum Neurosci* 2014;8:298.
24. Hoekstra F, van Nunen MP, Gerrits KH, Stolwijk-Swuste JM, Crins MH, Janssen TW. Effect of robotic gait training on cardiorespiratory system in incomplete spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev* 2013;50:1411-1422.
25. Labruyere R, van Hedel HJ. Strength training versus robot-assisted gait training after incomplete spinal cord injury: a randomized pilot study in patients depending on walking assistance. *J Neuroeng Rehabil* 2014;11:4.
26. Picelli A, Melotti C, Origano F, Neri R, Waldner A, Smania N. Robot-assisted gait training versus equal intensity treadmill training in patients with mild to moderate Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *Parkinsonism Relat Disord* 2013; 19:605-610.
27. Picelli A, Melotti C, Origano F, Waldner A, Gimigliano R, Smania N. Does robotic gait training improve balance in Parkinson's disease? A randomized controlled trial. *Parkinsonism Relat Disord* 2012;18:990-993.
28. Gilliaux M, Renders A, Dispa D, Holvoet D, Sapin J, Dehez B, Detrembleur C, Lejeune TM, Stoquart G. Upper limb robot-assisted therapy in cerebral palsy: a single-blind randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2015;29:183-192.
29. Fluet GG, Qiu Q, Kelly D, Parikh HD, Ramirez D, Saleh S, Adamovich SV. Interfacing a haptic robotic system with complex virtual environments to treat impaired upper extremity motor function in children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil* 2010; 13:335-345.
30. Meyer-Heim A, van Hedel HJ. Robot-assisted and computer-enhanced therapies for children with cerebral palsy: current state and clinical implementation. *Semin Pediatr Neurol* 2013;20:139-145.

## Peer Reviewers' Commentary

본 논문은 재활의학 분야에서의 로봇을 이용한 치료의 원리와 현재 임상에서 이용되고 있는 다양한 재활로봇에 대한 분류와 적응 증에 대해 소개하고 있다. 재활 로봇을 용도에 따른 치료용과 보조용 로봇으로 분류시스템을 서술하였고 기계적 원리에 의해 말단장치 로봇과 외골격 로봇으로 분류하여 서술하여 용도와 이용에 대한 이해를 개괄적으로 할 수 있게 하였다. 현재 임상적으로 보고된 문헌 고찰을 통해 근거 중심의학적인 면에서의 로봇 치료에 현황도 잘 소개하고 있다. 향후 보조용 재활 로봇, 인지 재활용 로봇, 뇌과학과 로봇 치료에 대한 고찰이 후속적으로 기대되는 논문이다.

[정리: 편집위원회]