

뇌졸중 환자에서 일일 재활치료 시간에 따른 기능적 회복

인하대학교 의과대학 재활의학교실, ¹제주대학교 의과대학 재활의학교실

여상원 · 이혜진 · 한은영¹ · 정한영

Influence of Daily Rehabilitation Training Time on Functional Outcome in Stroke Subjects

Sang Won Yeo, M.D., Hae Jin Lee, M.D., Eun Young Han, M.D.¹ and Han Young Jung, M.D.

Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Inha University College of Medicine, ¹Jeju National University College of Medicine

Objective: To evaluate the varying effects of rehabilitation intensity classified by the number of treatment sessions on recovery of activity and function in stroke subjects.

Method: Eighty nine subjects with stroke (51 infarction, 38 hemorrhage) had received conventional rehabilitation programs (physical therapies, occupational therapies) with 30 minutes per each therapy. They were divided into two groups; group I consisted of 42 subjects who received one session of rehabilitation therapy per day; group II consisted of 47 subjects received two sessions per day. Functional outcomes, such as K-BBS (Korean version of Berg Balance Scale), FIM (Functional Independence Measure), and MMSE-K (Korean version of Mini Mental State Examination) were assessed with two weeks interval. Data was analyzed the differences of functional outcomes assessed at the initial time of treatments (the initial) and at the time of the peak K-BBS (the second).

Results: Age, sex, lesion sites, the initial K-BBS, the initial FIM, and MMSE-K scores had no differences between two groups ($p > 0.05$). There were significant differences between the initial and the second K-BBS, and the initial FIM and the second FIM in group I & II, respectively ($p < 0.01$). In comparison for effects of rehabilitation intensity, the second K-BBS of group II were significantly higher than those of the group I ($p < 0.01$), but there was no statistically significant difference in the second FIM between two groups ($p > 0.05$). Also, length of stay was no significant differences between two groups.

Conclusion: The above findings suggest that though all rehabilitation programs affect the functional improvement of stroke subjects, the daily rehabilitation training time could be more important factor for functional improvement in subjects with stroke, especially on recovery of ambulation rather than the sum of functional gain. (Brain & NeuroRehabilitation 2009; 2: 134-139)

Key Words: daily rehabilitation training time, functional recovery, stroke

서 론

뇌졸중은 반신마비, 행동변화, 인지기능 저하, 감각변화 등 정상적인 일상생활에 지장을 주는 장애를 남기며, 특히 80%이상의 뇌졸중 환자에서 운동장애를 보인다.¹ 비록 어느 정도의 자연적인 회복 과정을 보이기는 하지만, 완전히 손상된 뇌조직 자체를 회복시킬 수는 없으며, 손상된 뇌신경조직의 기능은 손상된 뇌신경조직 주위나 반대측

뇌의 정상적인 뇌신경조직에서 기능을 대신함으로써 일부 기능적인 회복이 이루어지는 것이 알려져 있다.^{2,3} 하지만 많은 실험적 연구에 의하면 손상된 뇌신경의 회복은 자연적인 경과를 통해 이루어지기보다는 적극적인 재활 치료, 특히 운동치료 및 인지치료를 통해 회복되는 양상을 보이고 있다.^{4,5}

뇌졸중 재활치료의 목표는 여러가지 다양한 치료법을 이용해 손상된 뇌신경을 최대한 그리고 정확하게 회복되도록 유도하는 것이다. 뇌졸중 후 초기 재활 치료의 필요성은 널리 알려져 있으며,^{6,7} 뇌졸중의 재활 및 기능 회복에 대한 연구는 최근 활발히 진행되고 있는 분야로 훌륭한 연구 결과가 다수 발표되어 뇌졸중 환자의 재활에 희망을 주고 있다. 요즘은 국내의 재활전문병원에서는 뇌졸중 환자에게 대개 아래의 두 가지 방식의 재활 치료를 시행하고

접수일: 2009년 8월 20일, 1차 심사일: 2009년 9월 4일
 게재승인일: 2009년 9월 18일
 교신저자: 정한영, 인천시 중구 신흥동 3가 7-206
 ☎ 400-711, 인하대학교병원 재활의학과
 Tel: 032-890-2480, Fax: 032-890-2486
 E-mail: rmjung@inha.ac.kr

있다. 일일 30분간의 체간 및 보행 기능 회복을 위한 운동 물리치료와 상지 기능 회복과 일상 생활 동작 능력 향상을 위한 30분간의 작업치료(총 60분)를 시행하거나, 혹은 보다 적극적인 재활치료를 위해 운동 물리치료와 작업치료를 일일당 각각 2회씩 총 120분을 시행하는 것이다.

그러나 뇌졸중 환자의 재활치료에 사용되는 여러 가지 재활치료법의 효과에 대한 연구나 각 재활치료방법에 대한 비교연구는 많지만 재활 치료의 집중도나 치료시간이 운동 및 일상 생활 기능의 회복에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 재활 치료의 횟수로써 재활 치료의 시간을 구분하여 치료시간에 따른 재활치료가 뇌졸중 후 운동 및 기능 회복에 미치는 영향을 Berg 균형검사와 FIM 검사 결과를 비교하여 알아보하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구대상

2006년 1월부터 동년 12월까지 12개월간 본원에 최초로 발생한 뇌졸중으로 입원하여 재활의학과로 재활치료를 위해 의뢰된 89명의 환자를 대상으로 하였다. 이들은 뇌전산화단층촬영, 뇌자기공명영상 혹은 뇌혈관조형술을 통하여 뇌경색, 뇌출혈, 지주막하 출혈이 진단되었다. 이들 뇌영상검사를 통해 확진이 불가능 하거나 외상, 종양, 소아환자는 제외하였으며, 입원기간 중 뇌졸중의 합병증으로 재활치료를 지속할 수 없는 경우, 퇴원시 기능에 대한 평가를 시행하지 못한 경우는 제외하였다.

2) 연구방법

환자 모두에게 병력조회, 문진, 신경학적 상태, 보행 기능과 일상 생활 능력, 인지기능 평가를 시행하였다. 보행 기능은 한글판 버그 균형감각 검사(Korean version of Berg Balance Scale, K-BBS)를 이용하여 검사하였고 일상 생활 수행 능력은 기능성 독립 지수(Functional Independence Measure, FIM), 인지기능은 한글판 간이 정신상태 검사(Korean version of Mini-Mental State Examination, MMSE-K)를 이용하여 측정하였다. 환자 군을 하루에 한번 재활 치료를 시행한 군과 재활 병동에 입원하여 적극적인 재활치료를 위해 하루 두 번 재활 치료를 시행한 군으로 나누어 재활치료 시작 시점에서 기능적 평가를 시작하여 2주 간격으로 추적 평가를 시행하였고, K-BBS가 최고의 점수를 기록한 시점을 하지 기능손상 회복의 정점으로 보고, 이 때 FIM 평가를 다시 시행하였다. 두 군 모두 1회 치료시 30분간의 체간 및 보행 기능 회복을 위한 운동 치

료와 상지 기능 회복과 일상 생활 동작 능력 향상을 위한 30분간의 작업 치료 프로그램을 동일하게 시행하였다. 그 밖에 하지나 상지의 중추성 근약증이 3/5이하인 경우엔 기능적 전기자극치료(Functional electrical stimulation, FES)를 각각 일일 1회 혹은 2회씩 운동치료와 작업치료 수행 횟수와 동일하게 시행하였다.

3) 통계

자료의 분석은 SPSS 10.0을 이용하여 1회 치료군과 2회 치료군 간의 나이, 성별, 병인, 병소, 치료기간, K-BBS와 FIM 검사의 변화를 비교를 위해 student t-검정 시행하였고, 통계학적인 유의성은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결 과

1) 대상환자의 구성

총 89명의 환자 중 남자가 56명, 여자는 33명이었고, 뇌경색이 51명, 뇌출혈이 38명였으며, 병소는 피질이 31명, 피질하가 38명, 뇌간이 20명이었다.

하루에 한번 재활치료를 시행한 군은 총 42명(뇌경색 21명, 뇌출혈 21명)이었고, 남자가 30명이었으며, 병소는 피질이 17명, 피질하가 18명, 뇌간이 7명이었다. 하루에 두 번씩 적극적인 재활치료를 시행한 군은 총 47명(뇌경색 30명, 뇌출혈 13명)이었고 이중 남자가 26명으로, 병소는 피질이 14명, 피질하가 19명, 뇌간이 14명이었다.

두 군간에 나이, 성별, 병인, 병소 및 치료기간 사이(33.0 ± 19.8 일, 36.7 ± 16.1 일, $p = 0.34$)에 통계적으로 유의

Table 1. Characteristics of Subjects

	Single set rehabilitation (n = 42)	Dual set rehabilitation (n = 47)	p-value
Age (years)	58.8 ± 15.0	60.8 ± 15.6	0.45
Sex			0.12
Male	30	26	
Female	12	21	
Cause of stroke			
Infarct	21	30	
Hemorrhage	21	17	
Lesion site			
Cortical	17	14	
Subcortical	18	19	
Brainstem	7	14	
Treatment duration (days)	33.0 ± 19.8	36.7 ± 16.1	0.34

Values are mean ± S.D. or number of patients.

한 차이는 없었다(Table 1).

2) 재활치료 시간에 따른 보행 기능(K-BBS)의 회복

하루에 한 번 재활치료를 시행한 환자 군의 재활치료 시작시점에서의 K-BBS 점수는 14.3 ± 15.4 점이었으며 보행 기능이 최대회복시기의 K-BBS 점수는 32.1 ± 20.8 점 이었고, 하루에 2번 적극적인 재활치료를 시행한 환자 군의 재활치료 시작시점에서의 K-BBS 점수는 11.1 ± 11.8 점이었고 보행 기능이 최대정점에서 K-BBS 점수는 41.3 ± 12.2 점이었다. 재활치료 시작 시점에 측정한 K-BBS의 평균은 두 군사이에서 통계적인 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$, Fig. 1).

재활치료 전후에 측정한 보행기능의 능력을 비교한 결과, 재활치료를 하루에 한번 시행한 군과 재활치료를 하루에 두 번 시행한 군 모두에서 통계적으로 유의하게 보행능력이 회복되었다($p < 0.05$). 특히 하루에 두 번씩 재활치료를 수행한 군의 K-BBS는 30.2 ± 10.2 점 증가한 반면, 하루에 한 번씩 재활치료를 수행한 군은 17.8 ± 16.5 점 증가하여, 이 두 군간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$, Fig. 1).

3) 재활치료 시간에 따른 인지 기능(MMSE-K)의 회복

하루에 한 번 재활 치료를 시행한 환자 군에서 재활 치료 시작 시점에서의 인지기능은 20.2 ± 6.8 점이었으며, 하루에 두 번의 재활치료를 시행 받은 환자 군의 초기 인지기능은 18.4 ± 9.0 점으로 두 군간에 서로 통계학적인 차이가 없었다($p > 0.05$). 그 후 재활치료를 받는 과정에서 인지기능은 점차 회복되는 양상을 보였다. 즉, 재활치료를 하루 한 번 받는 군에서의 MMSE-K 점수는 보행기능 회복의 정점 시 23.2 ± 6.2 점이었고, 재활치료를 하루에 두

번 받은 환자 군은 인지기능도 23.2 ± 9.6 점으로, 재활치료를 받은 모든 군에서 재활치료를 받은 전후에 인지 기능의 회복이 통계적으로 유의하게 관찰되었으며($p < 0.05$), 두 군간의 인지기능은 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다(Fig. 2).

4) 재활치료 시간에 따른 일상 생활 수행 능력(FIM)의 회복

하루에 한 번 재활 치료를 시행한 환자 군에서의 재활 치료 시작 시점에서의 FIM 점수는 54.5 ± 22.4 점이었으며 보행기능 회복의 정점에서의 FIM 점수는 76.7 ± 25.9 점으로 재활치료 결과 일상 생활 수행 능력의 개선의 통계적으로 유의하게 관찰되었다($p < 0.05$).

또한 하루에 두 번 적극적인 재활치료를 시행한 환자 군에서 재활 치료 시작 시점에서의 FIM 점수는 52.3 ± 15.8 점이었고, 기능적 회복의 정점에서의 FIM 점수는 80.3 ± 17.3 점으로 일상 생활 수행 능력의 개선이 통계적으로 유의하게 관찰되었다($p < 0.05$). 그러나 하루에 한 번 재활치료를 수행한 군보다 하루에 두 번 적극적인 재활치료를 수행한 군에서 FIM 점수가 좀 더 증가하는 경향은 있었으나, 두 군간의 FIM변화양은 서로 통계적으로 유의하지는 않았다(Fig. 3). 추가적으로 FIM검사를 하지 기능인 운동(Mobility)항목과 상지 기능인 자조(Self-care) 항목으로 나누어 비교한 결과, 재활치료의 강도에 따라 상지 기능인 자조(Self-care) 항목은 유의한 차이를 보이지 않았으나($p > 0.05$), 운동(Mobility) 항목의 경우는 하루 한 번 재활치료를 수행한 군에서는 6.3 ± 6.7 점 증가하였고, 하루 두 번 재활 치료를 수행한 군에서는 9.5 ± 6.5 점 증가하였으며 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$, Fig. 4).

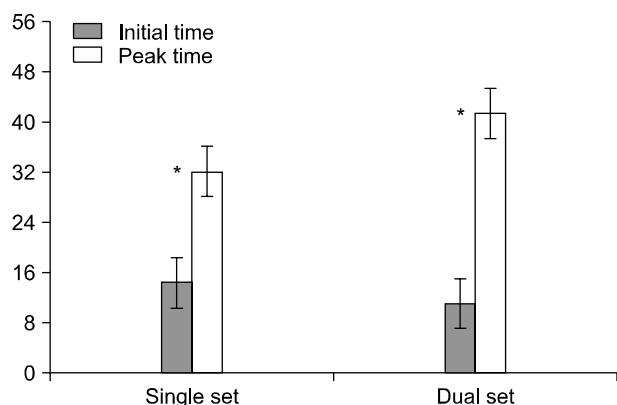


Fig. 1. Change of K-BBS according to Duration for Rehabilitation training. * $P < 0.05$.

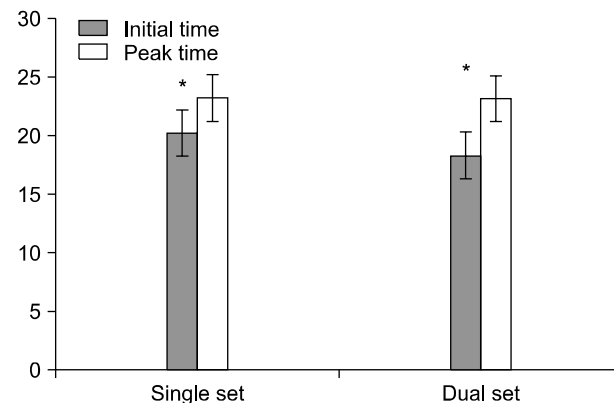


Fig. 2. Changes in MMSE-K according to Duration for Rehabilitation training. * $P < 0.05$.

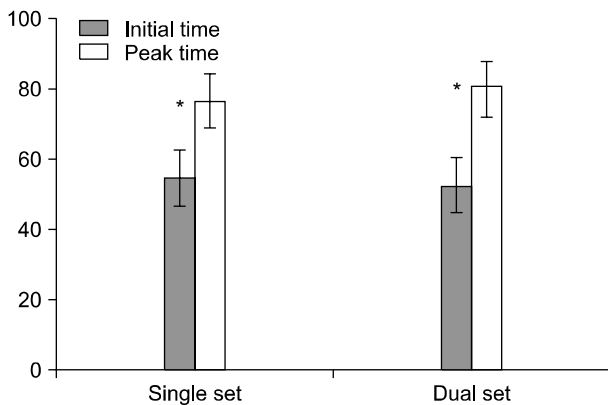


Fig. 3. Changes in total scores of FIM according to Duration for Rehabilitation training. *P < 0.05.

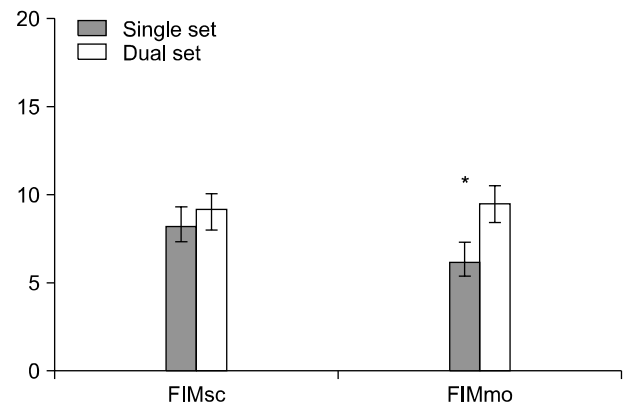


Fig. 4. Changes in Subset Scores of FIMsc and FIMmo according to Duration for Rehabilitation training. *P < 0.05.

고 찰

뇌졸중 환자에서 조기에 재활치료를 시행할수록 기능적 회복이 빠르고,⁸ 발병 후부터 재활치료 시작 시점까지의 기간이 길수록 기능회복의 예후가 좋지 않다는 것은 이미 널리 알려져 있다.⁹ 또한 뇌졸중 재활 병동과 일반 병동에서 치료받은 뇌졸중 환자들을 대상으로 바델지수의 변화와 입원기간을 비교한 결과, 재활병동에서 치료받은 환자들이 기능적 회복이 더 좋았으며 재원기간이 더 짧았다고 보고도 있다.¹⁰ 이와 같이 뇌졸중 발병 후 얼마나 조기에 재활치료를 실시하였는가, 얼마나 효과적으로 재활치료를 하였는가 하는 것이 뇌졸중 환자의 장애를 줄이는데 매우 중요한 요소가 되고있다. 여기에 덧붙여 뇌졸중 환자에게 얼마나 집중적인 재활치료를 실시하느냐에 따라 그 재활치료의 효과가 달라질 수도 있다는 가설도 가능하다.

집중적인 재활치료(intensive rehabilitation)라는 개념은 크게 질적인 개념과 양적인 개념으로 생각할 수 있다. 첫째 질적인 개념으로는 어떤 특정한 동작이나 운동형태를 훈련시키기 위해 집중적으로 같은 동작이나 조직화된 동작을 반복적인 훈련시키는 방법이다. 이것은 과제 중심적 훈련법(task oriented approach)이라는 용어로도 사용하고 있으며, 이런 방법으로는 motor relearning program; MRP,¹¹ partial body-weight training; PBWT,¹² constraint induced movement therapy; CIMT,¹³ robotic therapy¹⁴ 등이 있다. 이런 과제 중심적 집중 훈련이 전통적인 재활치료방법보다 보다 효과적인 것으로 여러 연구에서 알려져 있다.^{15,16} 또한 기능적 전기 자극(functional electrical stimulation: FES) 치료도 전기적인 자극에 의한 직접적인 효과를 제외

한다면 전기자극에 의해 마비된 근육이나 관절에 대한 반복적인 훈련이라는 점에서 과제 중심적 훈련법의 하나로 볼 수도 있다.¹⁷

또 다른 하나의 개념은 양적인 개념으로서 일정한 운동을 하루에 얼마동안 수행하는 가하는 개념이다. 현재 우리나라에서 뇌졸중 환자들에게 널리 사용되고 있는 방법으로는 고식적인 재활치료방법(conventional therapy)중 하나인 중추신경계발달치료(Neuro-Developmental Therapy, NDT)를 30분 단위로 하루에 한 번(총 30분) 혹은 두 번(총 60분)을 실시하는 것이 일반적이다. 그러나 이와 같이 동일한 치료 프로그램을 서로 다른 치료기간동안 훈련을 수행한 후, 그들의 치료 효과를 비교 분석한 연구는 매우 드물다. 본 연구에서는 고식적인 재활치료방법을 하루에 한 번 30분간 재활치료를 한 것보다는 하루에 60분간 보다 집중적인 재활치료를 실시한 결과, 보행 및 균형 능력에서 상당한 치료효과가 있었으며, 이는 신경학적인 평가의 호전(K-BBS)에만 그친 것이 아니라 실제로 기능적인 일상생활능력 중 이동기능(FIMmo)의 호전으로까지 이어져 있는 것이 밝혀졌다.

뇌졸중 환자의 재활치료 효과의 기전에 관한 연구는 최신 의료장비의 개발에 따라 활발히 연구되고 있다. 뇌졸중 후 운동기능 회복에 대해 Caramia 등¹⁸은 정상에서 억제되어 있던 동측의 운동 유발전위가 발병 후 손상된 교차 운동유발전위에 대한 예비능으로서 활성화되고 이는 초기 운동기능회복과 관련이 있어 기능적 뇌가소성의 한 근거임을 제시하였고, 운동경로를 침범하지 않는 뇌병변에서는 동측 운동유발전위가 나타나지 않는다고 주장하였다. 또한 보조운동 피질(supplementary motor cortex)과 전운동피질(premotor cortex)이 운동피질(motor cortex)을 대신하는 동측 운동유발전위의 주 영역이며 두피 내 최적

운동자극점의 위치도 변화한다고 보고도 있다.¹ 최근의 임상실험결과 적극적인 재활치료 시에 운동기능의 회복에 관한 기전이 알려졌는데, 뇌졸중 후 운동 훈련시 반대측의 대뇌피질이 활성화됨이 확인되었으며, 기능이 회복되면서 대뇌피질 활동은 정상화된다. 또한 재활 치료 시 얻어지는 감각 신경 자극도 운동기능회복에 도움을 준다고 알려져 있다.¹⁹

훈련의 효과는 반복적인 운동의 양과 운동의 복잡성(난이도), 운동 시간 등에 의해 영향을 받는다. 짧은 기간동안 강한 강도의 운동을 반복적으로 훈련한 후에는 오히려 지각적 판단과 운동 정확도에서 부정적인 훈련 효과를 보였다는 보고가 있으며,²⁰ 복잡하고 조직적인 과정으로 구성된 훈련이 간단한 운동의 반복적인 훈련에 비해 운동훈련 효과가 더 크다고 하여,²¹ 운동 강도, 운동 난이도, 운동의 질적인 내용 등이 모두 운동치료의 효과에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 운동 훈련은 인지기능에도 영향을 미치며, 이는 운동 훈련을 하는 동안 부수적으로 집중력, 기억력과 판단력에 긍정적인 영향을 미치기 때문이다.^{22,23}

또한 본 연구 결과, 재활치료를 시행하는 동안에 인지기능도 호전되는 양상을 확인할 수 있었는데 이것이 재활치료의 효과인지 혹은 기타 약물치료나 자연적인 회복과정의 결과인가는 보다 면밀한 연구가 더 필요하지만, 과거의 다른 연구에서 운동치료시 인지기능의 호전이 있으며,¹⁸ 특히 정보처리 기능과 수행기능의 호전이 두드러진다는 결과로 미루어 보면, 재활치료가 인지기능의 회복에 일부 영향을 주었을 것을 배제할 수는 없다.

본 연구 결과에서는 버그균형검사의 정점을 기능적 회복의 정점으로 보고, 그 시점에서의 평가를 비교하였으며, 그 정점까지의 기간이 대개 3개월이내여서 발병 3개월 이후의 장기간(long-term) 비교결과는 알 수 없는 점과, 이러한 짧은 연구기간은 상기기능 회복 정도를 평가하는 데 한계를 보이고 있는 듯하다. 또한 연구에 참여한 환자군의 숫자가 적고, 뇌병변의 위치에 따른 차이, 당뇨병 등 감각 기능장애의 동반 여부등이 연구 결과에 영향을 미칠 수 있다는 한계점을 가지고 있다. 이 같은 몇 가지 한계점에도 불구하고 뇌졸중 환자에서의 하루 60분의 보다 집중적인 재활치료로 보행기능, 일상 생활 수행 능력의 향상과 인지 기능의 일부 회복 가능성을 확인할 수 있었으며, 특히 보행 기능의 기본 동작인 균형 및 이동기능 회복에 있어 집중적인 재활치료가 기능적 회복에 결정적인 역할을 한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 뇌졸중 환자의 치료에 있어 적극적인 재활 치료의 필요성과 중요성에 대한 교육과 홍보가 더욱 강조 되어야 할 것으로 생각되며 향후 적극적인 재활치료의 성과에 대해서는 미비점들을 보강한

연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각된다.

결 론

본 연구에서 저자들은 뇌졸중 발병 후 하루 30분 재활 치료를 받은 환자보다 하루 60분 동안 보다 많은 양의 재활 치료를 받은 환자들에서 보행 기능의 기본 동작인 균형 및 이동기능 능력이 더욱 회복되는 것을 확인하였으며 더불어 인지기능이 회복되는 양상을 발견하였다. 이는 현재 한국에서 널리 사용되고 있는 일일 30분간 2회의 재활치료가 뇌졸중 환자의 기능회복에 더욱 기여한다는 것을 입증한 결과로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Nelles G. Cortical reorganization-effects of intensive therapy. *Restor Neurol Neurosci.* 2004;22:239-244
- 2) Radak Z, Kaneko T, Tahara S, Nakamoto H, Pucsek J, Sasvari M, Nyakas C, Goto S. Regular exercise improves cognitive function and decreases oxidative damage in rat brain. *Neurochem Int.* 2001;38:17-23
- 3) Ohlsson AL, Johansson BB. The environment influences functional outcome of cerebral infarction in rats. *Stroke.* 1995;26:644-649
- 4) Nudo RJ, Wise BM, SiFuentes F, Milliken GW. Neural substrates for the effects of rehabilitative training on motor recovery after ischemic infarct. *Science.* 1996;272:1791-1794
- 5) Nudo RJ. Adaptive plasticity in motor cortex: implications for rehabilitation after brain injury. *J Rehabil Med.* 2003;(41 Suppl):7-10
- 6) Thorsen AM, Holmqvist LW, de Pedro-Cuesta J, von Koch L. A randomized controlled trial of early supported discharge and continued rehabilitation at home after stroke. Five-year follow-up of patient outcome. *Stroke.* 2004;23:297-303
- 7) Fjaertoft H, Indredavik B, Johnsen R, Hydersen S. Acute stroke unit care combined with early supported discharge. Long-term effects on quality of life. A randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2004;18:580-586
- 8) Jongbloed L. Prediction of function after stroke: a critical review. *Stroke.* 1986;17:765-776
- 9) Johnston MV, Keister M. Early rehabilitation for stroke patients: a new look. *Arch Phys Med Rehabil.* 1984;65:437-441
- 10) Kalra L. The influence of stroke unit rehabilitation on functional recovery from stroke. *Stroke.* 1994;25:821-825
- 11) Carr JH, Shepherd RB. *Stroke Rehabilitation-guidelines for exercise and training to optimize motor skill.* 1st ed. London: Butterworth & Heinemann; 2003:1-31
- 12) Trueblood PR. Partial body weight treadmill training in persons with chronic stroke. *NeuroRehabilitation.* 2001;16: 141-153
- 13) Wolf SL, Winstein CJ, Miller JP, Taub E, Uswatte G, Morris D, Giuliani C, Light KE, Nichols-Larsen D. EXCITE

- Investigators. Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke: the EXCITE randomized clinical trial. *JAMA*. 2006;296:2095-2104
- 14) Finley MA, Dipietro L, Ohlhoff J, Whitall J, Krebs HL, Bever CT. The effect of repeated measurements using an upper extremity robot on healthy adults. *J Appl Biomech*. 2009;25:103-110
- 15) Ivey FM, Hafer-Macko CE, Macko RF. Exercise rehabilitation after stroke. *NeuroRx*. 2006;3:439-450
- 16) Ivey FM, Hafer-Macko CE, Macko RF. Task-oriented treadmill exercise training in chronic hemiparetic stroke. *J Rehabil Res*. 2008;45:249-259
- 17) Tong RK, Ng MF, Li LS. Effectiveness of gait training using an electromechanical gait trainer, with and without functional electric stimulation, in subacute stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006;87:1298-1304
- 18) Caramia MD, Iani C, Bernardi G. Cerebral plasticity after stroke as revealed by ipsilateral responses to magnetic stimulation. *Neuroreport*. 1996;7:1756-1760
- 19) Kleim JA, Boychuk JA, Adkins DL. Rat models of upper extremity impairment in stroke. *ILAR J*. 2007;48:374-384
- 20) McMorris T, Rayment T. Short-duration, high-intensity exercise and performance of a sports-specific skill: a preliminary study. *Percept Mot Skills*. 2007;105:523-530
- 21) Wulf G, Shea CH. Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychon Bull Rev*. 2002;9:185-211
- 22) Gabriel DA, Boucher JP. Practicing a maximal performance task: a cooperative strategy for muscle activity. *Res Q Exerc Sport*. 2000;71:217-228
- 23) Acevedo A, Loewenstein DA. Nonpharmacological cognitive interventions in aging and dementia. *J Geriatr Psychiatry Neurol*. 2007;20:239-249