

등장성 수축 결합기법의 특성에 대한 고찰

—원심성 훈련의 중요성—

김미현* · 배성수**

인제대학교 의생명공학대학 물리치료학과* · 대구대학교 재활과학대학 물리치료학과**

Review of characteristics of the isotonic combination: Importance of eccentric training

Mi-hyun Kim, P.T., Ph.D.*, Sung-soo Bae, P.T., Ph.D.**

Department of Physical Therapy, College of Biomedical Science & Engineering, Inje University,
Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Taegu University***

<Abstract>

Purpose : The purpose of this article is to summarize the characteristics of isotonic combination.

Method : Some studies of the motor unit activation patterns during isometric, concentric, and eccentric actions, neural strategies in the control of muscle force, and concentric versus combined concentric-eccentric training were reviewed.

Results & Conclusions : Eccentric torque may be relatively higher than concentric torque for two potential reasons: 1) stretch responses in the antagonist are not elicited to restrain the motion as can occur concentrically and 2) stretch responses in the agonist may augment eccentric torque production. Concentric-eccentric training has a greater influence on functional capacity than that of concentric training. Both maximal force and average force throughout the motion were significantly higher when the dynamic action was started with preactivation as compared to the mode without preactivation. The peak torques observed during the concentric phase of the eccentric-concentric muscle actions were higher than those noted in the pure concentric contraction.

Key words : Isotonic combination, Motor unit activation patterns, Eccentric torque, Eccentric-concentric training

I. 서 론

보행, 앉은 자세에서 일어서기와 앉기, 계단 오르내리기, 물건을 집어들거나 내려놓는 등 많은 일상 활동에서 사지의 운동을 조절하기 위해서 구심성, 원심성, 안정적 근수축이 번갈아 일어난다. 구심성과 원심성 근 작용이 대부분의 일상생활에서 연속적으로 사용되기 때문에 근골격계 환자 및 신경근계 손상 환자들을 위한 훈련에 두 가지 수축 형태가 모두 포함되어야 한다(Gür et al., 2002). 근력 증가와 근 조절력 증가를 목적으로 환자에게 흔히 적용되는 고유수용성 신경근 촉진기법 중 일상적인 활동 수행 및 운동조절에 있어서 중요한 원심성 조절을 포함한 구심성 수축과 등척성 수축을 적절히 훈련할 수 있는 기법이 등장성 수축의 결합이다.

등장성 수축의 결합 기법은 이완 없이 한 근육군(주동근)의 구심성, 원심성, 안정적 수축을 시행하는 기법이다(김미현 외, 2002). 이 기법의 사용목적으로는 근력 증가, 능동적 운동조절과 협응 증가, 기능적 훈련에서 운동의 원심성 조절 증가, 관절가동범위의 증가, 지구력 증진, 길항근 억제 등이 있다(Westerholt, 2003). 기법을 적용하는 절차로는 기능적 운동에 대해 적절한 저항을 가하며, 치료 목적에 따라 원심성, 구심성, 안정적 수축을 결합한다. 이때 치료사의 손은 같은 근육군에 접촉하여야 하며, 다른 종류의 근수축 사이에 이완이나 휴식이 허용되지 않도록 한다.

본 연구에서는 등장성 수축의 기본적 형태인 등척성, 구심성, 원심성 근작용의 특성 및 차이점을 살펴보고, 원심성 훈련의 효과, 등척성 수축 직후 동적 수축력, 원심성 수축 직후 구심성 수축력에 대해 탐색하고자 한다.

II. 원심성 수축과 구심성 수축의 특성

A. 근 수축시 운동단위 동원과 발화빈도

근 수축시 운동단위의 동원(recruitment)순서는 Henneman에 의해 설명된 크기의 원리(size principle)를 따른다. 느리게 수축하는 피로-저항형 근섬유를 지배하는 가는 축삭의 작은 신경원이 동원된 후 빨리 수축하고 쉽게 피로해지는 근섬유를 지배하

는 굵은 축삭의 신경원이 동원된다(Latash, 1998; Moritani & Muro, 1987). 크기의 원리는 등척성 수축시 운동단위가 동원되는 순서에 대한 설명이며, 구심성과 원심성 수축 동안에도 등척성 수축시와 비슷한 운동단위 활성화 패턴이 나타나는지는 분명하지 않다(Linnamo, 2003).

수의적 수축에서 근육 힘의 조정(gradation)에 관련된 두 가지 기전 중 하나는 동원되는 운동단위의 수이고, 다른 하나는 이미 활성화된 운동단위의 발화빈도(firing frequency)이다(박상범, 김미현, 2002; Kossev & Christova, 1998). 동원되는 운동단위의 수가 많거나 발화빈도가 높다면 보다 큰 힘을 발휘할 것이다. 또한 수축력이 증가된다면 보다 더 큰 신경원이 발화(firing)되기 시작하고 더 큰 운동단위가 동원된다.

B. 구심성과 원심성 근 수축 동안 운동단위 활성화 패턴

정상인에서 구심성과 원심성 근육 힘 생성 사이에 생리학적 차이가 최근 많이 연구되어왔으며, 근육은 똑같은 길이와 속도에서 구심성 수축보다 원심성 수축시 더 큰 힘을 낼 수 있다(Damiano et al., 2001). 같은 힘의 구심성 수축과 비교하여 원심성 수축시 더 적은 수의 운동단위가 동원되며, 발화빈도가 더 낮는데(Kossev & Christova, 1998; Linnamo et al., 2003), 이것은 원심성 운동이 구심성 운동보다 역학적 효율성이 높음을 의미한다. 또한 최대 원심성 수축시 구심성 수축보다 더 큰 힘을 생성하고, 더 큰 부하를 조절할 수 있는 것은 원심성 수축에는 근육의 수축성 요소와 비수축성 요소가 관여하는데 반해, 구심성 수축에는 근육의 수축성 요소만 작용한다는 것이다. 아울러 같은 부하의 원심성 근수축보다 구심성 근 수축시 산소소비량이 더 많으며, 에너지 요구량도 더 높다(Kisner & Colby, 2002).

운동단위의 동원 역치(threshold)는 등척성 조건에 비해 동적(dynamic, anisometric) 조건에서 더 낮은 것으로 나타났으며(Ivanova et al., 1997), 동적 조건에서는 저굴근의 원심성 수축시 구심성 수축에 관련된 운동단위보다 더 높은 역치의 운동단위에 의해 조절된다(Nardone et al., 1989).

그리고 운동단위 활성화의 차이와 역학적 반응의 차이로 인해 각 수축형태에 따른 피로저항능력에도 차이가 있는 것으로 나타났다. Kay 등(2000)의 연구에 의하면 정상 성인의 무릎 신전근의 최대 수축력은 수축형태 사이에 유의한 차이가 없었지만, 피로저항능력은 원심성 수축 동안 가장 큰 것으로 밝혀졌다. 최대 힘 출력을 100초 동안 유지하는 조건에서 등척성 수축력과 등장성 수축력이 초기 값(초기 20초 동안 근전도값)에 비해 마지막 시기 값(마지막 20초 동안 근전도값)이 현저히 감소하였으나 원심성 수축에서는 초기 값과 마지막 수축시 값에 비슷하여 다른 두 수축 형태와는 유의한 차이를 보였다. 원심성 활동 동안 부가적인 운동단위의 동원 또는 빈도의 변화 외에 힘을 생성하는 부가적인 기전을 이용했을 수도 있으며, 근육과 결합조직의 탄력성 요소가 원심성 활동 동안 힘 생성에 기여했을 것이다(Komi & Bosco, 1978). 또한 원심성 수축 동안 불충분한 운동단위의 활성화는 수축을 지속하는 동안 새로운 운동단위의 보다 큰 확보(reserve)를 제공할 것이며, 이것은 운동단위의 순환 증가와 피로를 적게 한다. 즉, 운동단위의 비축과 기계적·탄성 에너지의 보다 많은 이용은 구심성과 등척성 수축에 비해 원심성 활동 동안 골격근의 피로저항 반응에 기여하는 것으로 밝혀졌다(Kay et al., 2000).

C. 구심성과 원심성 수축 조절에 관련된 신경기전의 차이

구심성 수축과 원심성 수축의 특성을 비교·연구한 결과에 의하면 각각의 수축 조절기전이 다르다(Christou & Carlton, 2002; Enoka, 1996). 즉, 원심성 수축 동안 중추신경계는 근육 힘을 다르게 조절한다는 것이다. 구심성 수축과 비교하여 원심성 수축시 몇 가지 신경기전 차이(neural difference)는 다음과 같다. 첫째, 더 낮은 근육활성화(Kossev & Christova, 1998), 둘째, 더 낮은 운동유발전위(Sekiguchi et al., 2001), 셋째, 더 높은 피질 흥분성(Fang et al., 2001), 넷째, 더 높은 운동단위의 동시화(synchronization)(Christou & Carlton, 2002), 다섯째, 피로율의 감소(Binder-Macleod & Lee, 1996).

구심성 수축과 비교하여 원심성 수축 동안 근육

활성화의 감소는 운동단위 방전률(discharge rate)의 감소로 기인한 것으로 나타났으며(Kossev, & Christova, 1998), 초두개자극(transcranial stimulation)에 의한 상완이두근과 상완요골근의 유발전위 강도(amplitude)는 원심성 수축시 가장 낮았으며, 그 다음이 등척성 수축시였고, 구심성 수축시 가장 높은 것으로 나타났다(Abbruzzese et al., 1994). 또한 상완요골근에서 유도된 H-반사의 강도 역시 원심성 수축 동안 감소하였고, 구심성 수축 동안 증가하였다. 이러한 결과는 피질중추가 원심성 수축과 구심성 수축을 위해 척수 순환(spinal circuitry) 또는 운동신경원 연합(motor neuron pool)을 다르게 조절한다는 것을 제안한다(Enoka, 1997a). 뇌전도(EEG)로 측정된 운동과 관련된 피질전위(cortical potentials) 역시 원심성 수축과 구심성 수축시 달랐으며(Fang et al., 2001), 원심성 수축 동안 더 높게 나타났다. 운동신경원의 흥분성도 수축 형태에 따라 다르며, 원심성 수축 동안 운동단위의 동시화가 더 높게 나타났다(Christou & Carlton, 2002).

원심성 수축시 운동프로그램이 다르게 조직화될 수 있다는 것에 대한 실험적 증거로는 Christou와 Carlton(2002)의 연구를 들 수 있다. 구심성과 원심성 수축 동안 각 목표 힘에서 피험자에 의해 발휘된 평균 최대 힘은 비슷하였으나 최대 힘까지 걸리는 시간은 원심성 수축시 훨씬 더 짧았으며, 시간의 가변성은 더 높았다. 최대 힘에 이르는 시간이 다르다는 것은 운동프로그램(하행성 운동명령과 운동신경원의 흥분성)이 다르게 조직화될 수 있다는 것을 제안한다. 또한 같은 힘 수준에서 수행된 구심성과 원심성 수축 동안 힘 출력(output) 가변성도 원심성 수축시 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 원심성 수축 동안 수축 타이밍이 더 가변적임을 의미하며, 즉 두 수축형태 간에 수축 타이밍의 조절이 다름을 의미한다. Grabiner 등(1995)의 근전도 연구에서도 원심성 수축이 중추신경계에 의해 다르게 조절된다고 제시하였다. 피험자가 무릎 신전근의 원심성 수축을 수행할 것이라고 예측하고 있을 때 수행된 원심성 수축의 초기 근전도 값(amplitude)은 구심성 수축시의 초기 근전도 값보다 더 낮았다. 하지만 피험자가 구심성 수축을 예상한 상태에서 등속성 장비로 원심성 수축이 강행될 때 초기 근전

도(EMG) 값은 구심성 수축을 예상했을 때와 같다. 이러한 결과는 원심성 수축과 관련된 수의적 명령은 동원되는 운동단위와 활성화될 수 있는 운동신경원 연합(motor-neuron pool)의 규모에 대한 중추신경계의 제한 때문에 독특하다는 것을 제안한다.

D. 신경계손상 환자의 구심성 및 원심성 활성화

뇌성마비에 있어서 경직성이 구심성 활성화에 미치는 영향에 대한 연구에서 Engsborg와 공동연구자들(1999)은 뇌성마비 아동이 느린 등속성에서 정상보다 약할 뿐만 아니라 속도가 증가함에 따라 토크가 더 크게 감소된다고 하였다. 이것은 주동근의 최대 구심성 수축 동안 길어지는 경직성 길항근으로부터 더 빠른 속도의 신장반사로 인해 제한이 증가되는 것으로 알려져 있다(Damiano et al., 2001). 뇌졸중과 같은 신경계 손상 환자에서도 구심성 수축을 하는 동안 신장반사(속도 증가와 함께 증가되는)에 의해 길항근의 제한이 부과된다(Mouraux et al., 2002). 이것은 주동근의 토크 생성을 제한한다. 하지만 원심성 활성화 동안에는 근육이 짧아지기 때문에 길항근의 경직성 신장반응이 일어나지 않는다. 대신에 주동근은 이 조건에서 길어지고 신장 활성화의 영향을 받기 쉽다. 신장반응이 일어난 경우에 주동근의 총 힘 생성은 사실 증대될 것이다(Knutson et al., 1994).

뇌성마비 아동과 정상 아동을 대상으로 무릎 굴곡근, 신전근, 발목 저굴근, 배굴근의 원심성과 구심성 최대 토크를 비교한 연구에서는 모든 근육군에서 원심성과 구심성 수축력의 감소가 나타났으며, 각 근육의 원심성/구심성 수축비율은 정상아동들보다 더 높았다(Damiano et al., 2001). 이는 뇌성마비 아동의 원심성 근력이 구심성 수축력에 비해 더 큰 경향이 있음을 제안한다. 또한 무릎 신전근과 굴곡근, 발목 저굴근에서 원심성 활성화에 비해 구심성 활성화에 더 큰 결함이 있는 것은 경직성 신장반응이 힘 생성에 미치는 잠재적 영향임을 의미한다. Damiano 등(2001)은 원심성 토크가 구심성 토크에 비해 상대적으로 더 높은 두 가지 이유로 첫째, 구심성 수축시 운동을 제한하는 길항근의 신장반응이 원심성 수축시에는 유도되지 않으며, 둘째, 주동근의 신장반응은 원심성 힘 생성을 증대시

킬 것이라고 제시하였다.

이러한 발견의 임상적 암시는 다양하다. 첫째, 뇌성마비 아동은 구심성 수축력뿐만 아니라 원심성 수축력의 약화가 나타나며, 원심성 훈련을 재활프로그램에 반영하여 원심성 토크 생성을 필요로 하는 기술을 증강시킬 수 있음을 인식해야 한다. 하지만 토크 생성의 강도(magnitude)는 수행의 단정한 측면이고 최대 토크만 증가시켜서는 운동기능을 증가시킬 수 없다. 과제를 수행할 때 적절한 타이밍과 힘 조절은 조화로운 운동의 기본요소이며, 이것은 불수의적인 신장반응의 출현에 의해 방해받을 수 있다(Damiano et al., 2001). 둘째, 원심성 훈련은 구심성 근작용 동안 신장반응에 의해서 제한받는 근육을 강화시키기 위한 지름길이다. 원심성 운동은 에너지 비용이 더 낮고, 노력이 덜 지각되며, 더 큰 힘을 생성할 수 있다(Stauber, 1989).

이렇듯 상운동신경증후군 환자의 원심성 수행은 길항근의 신장반응을 유도하지 않고, 주동근의 신장반응으로 증대될 수 있기 때문에 이러한 환자들의 근력 훈련을 위한 효율적인 방법이라고 할 수 있다(Damiano et al., 2001).

E. 노인들의 근수축 특성

노인들은 등척성과 동적 수축시 근육 힘의 감소를 조절하는데 어려움을 지닌다. 특히, 구심성 수축에서 원심성 수축으로 전환될 때 가장 큰 어려움을 지니며, 이것은 원심성 수축 초기에 갑작스러운 힘 감소로 나타난다(Enoka, 1997b). 최대하 원심성 수축 동안 힘을 안정되게 발휘하는 능력의 감소는 계단을 올라갈 때와 비교해서 내려가는 동안 넘어질 위험성을 더 높게 한다(Cavanagh et al., 1997).

노인들의 경우 구심성과 원심성 수축 동안 방향 전환기간의 차이가 현저하다(Connelly et al., 2000). 즉, 발목 배굴근의 구심성-원심성 수축 사이의 시간이 원심성-구심성 수축순서 사이의 시간보다 더 긴 것으로 나타났다. 운동 사이의 이러한 지연은 운동조절에 있어 운동계획의 휴지기로 가정되었으며(Goggin & Stelmach, 1990), 노인들은 원심성 수축의 초기에 갑작스러운 힘 감소로 조절의 어려움을 보였다. 원심성-구심성 순서 사이에 지연이 나타나지 않은 것은 이 지점에서의 근 길이

가 수축력 생성을 위한 최적위라고 가정된다(Enoka, 1996).

III. 구심성 훈련과 원심성 훈련

근력의 증진은 훈련의 수축형태와 관련이 있으며, 구심성 훈련그룹에서는 구심성 근력이 더 향상된 반면, 구심성-원심성 훈련그룹에서는 구심성 훈련그룹에 비해 원심성 근력이 현저히 증진되었다(Gür et al., 2002). 이러한 훈련효과의 특이성(specificity) 때문에 근력강화 훈련을 할 때는 구심성과 원심성 훈련이 포함되어야 할 것이다. 그리고 많은 일상생활 동작이 구심성과 원심성 수축을 포함하고 있기 때문에 노인과 환자들의 기능적인 수행능력을 증진시키기 위해서는 두 가지 수축형태의 훈련이 이루어져야 한다.

근수축력 조절에 어려움이 있는 노인들의 경우 주 3회, 2주 동안의 등속성(원심성, 구심성) 훈련 후 구심성과 원심성 수축 사이의 지연은 제거되었으며, 수축력이 향상되었다. 이와 관련되는 신경기전으로는 운동단위 발화율(firing rate)의 동시화와 보다 더 큰 신경가동(neural drive)으로 인한 높은 근육 활성화, 하위동작(submovement, 머뭇거림)의 감소로 표현되는 협응력 증진, 구심성과 원심성 근작용의 신경조절 전략에 대한 적응이 포함된다(Connelly et al., 2000).

무릎관절증(osteoarthritis) 환자를 대상으로 구심성-원심성 훈련과 구심성 훈련 후 기능적 능력을 비교 평가한 Gür 등(2002)의 연구 결과에서도 구심성-원심성 훈련그룹에서 기능적 능력의 향상이 더 나왔으며, 특히 무릎 관절환자들이 가장 손상을 많이 받는 계단 오르내리기 능력이 현저하게 증진되었다.

A. 원심성 훈련의 효과

원심성 근수축을 이용한 저항훈련이 구심성이나 등척성 수축을 이용한 훈련보다 근력 증가에 더 효과적이다(Collinder & Tesch, 1990b). 원심성 훈련시 보다 큰 수축력의 증가는 속근(fast-twitch) 섬유유 동원에 의해서 설명되어질 수 있다(Nardone et al., 1989). Hortobagyi 등(1996a)도 최대하 원

심성 운동 동안 속근섬유가 우선적으로 동원된다고 보고하였으며, 원심성 훈련으로 인한 토오크의 증가는 속근섬유의 비대와 관련이 있다고 밝혀졌다(Hortobagyi et al., 1996b). Nardone 등(1989)은 저굴근의 원심성 수축시 구심성 수축에 관련된 운동단위보다 더 높은 역치의 운동단위에 의해 조절된다고 보고하였다. 이러한 운동단위는 구심성 수축 동안 동원되는 것이 어렵기 때문에 근력 강화프로그램에 원심성 수축이 포함되는 것이 바람직하다고 하겠다(Dudley et al., 1991). 그리고 원심성 훈련은 모든 근수축 형태(원심성, 구심성, 등척성)의 최대 수의적 토오크를 향상시키는 것으로 나타났다(Colson et al., 1999). 이와 같이 원심성 또는 구심성-원심성 훈련의 효과가 더 큰 것은 구심성 훈련과 비교하여 신경 적응에서의 변화가 더 크며, 근비대가 더 큰 것에 기인한다(Collinder & Tesch, 1990a; Higbie et al., 1996).

앞서 뇌졸중과 뇌성마비를 포함한 신경계손상 환자들은 길항근의 경직성 신장반응과 주동근의 신장반응 영향으로 근력 증가를 위해 원심성 훈련이 더 적절하다고 제시하였다. 뇌졸중 환자를 대상으로 원심성 강화훈련과 구심성 강화훈련이 무릎 신전근과 기능적 능력에 미치는 영향을 비교한 Engardt 등(1995)의 연구에서 원심성 훈련 그룹에서만 비환측 하지와 비교하여 환측 하지의 신전근 근력이 구심성과 원심성 둘다 증가되었으며, 앉은 자세에서 일어서기 과제에서 거의 대칭적인 체중 분포를 보였다. 이것은 구심성 또는 원심성 훈련이 수행되는지에 따라 근력 훈련의 영향이 다름을 제안한다.

B. 등척성 수축 직후 동적 수축 훈련

등척성 수축 후 동적인 수축을 일으킨 것(preactivation)과 사전에 등척성 수축을 하지 않고 동적인 수축을 한 경우 운동단위 활성화패턴(mean spike amplitude & mean spike frequency)에서의 차이를 비교한 Linnamo 등(2003)의 연구에 의하면 등척성 힘 수준이 증가한 만큼 감마-운동신경원 활성화의 증가로 보다 더 큰 힘을 생성하며, H-반사의 반응도 커진다. 따라서 운동 이전의 활성화(preactivation)수준은 운동단위 동원 패턴에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 운동범위에 걸친 평균

힘과 최대 힘 역시 사전활성화(preactivation) 조건보다 사전에 등척성 수축을 하지 않고 동적 근작용(구심성과 원심성)이 시작되었을 때 유의하게 더 낮았다. 동적 수축 이전에 등척성 수축을 한 조건에서 힘이 더 큰 것은 이미 운동단위의 활성화가 상당히 이루어져있는 상태이고, 특히 빠른 운동단위의 동원이 잘 이루어졌기 때문이며, 부가적인 힘의 증가를 위해 이미 동원된 운동단위의 발화빈도가 증가하기 때문이다(Linnamo et al., 2003).

세 가지 수축조건에서 더 큰 힘을 지속하기 위해서는 빠른 운동단위가 동원되고, 동원된 운동단위의 발화빈도 증가에 의한 것이라고 할 수 있다.

C. 원심성 수축 직후 구심성 수축

단일 근작용에서 원심성-구심성 근작용의 구심성 시기에 관찰된 최대 토오크는 순수한 구심성 수축 동안 기록된 값보다 더 높다(Svantesson et al., 1994). 활동근(active muscle)이 신장될 때(원심성 수축) 근육의 장력이 증가하고, 근육이 탄성에너지를 저장하여 이어지는 구심성 수축에 이용하므로 최소한 그 근작용의 초기에 수행을 증가시킨다(Svantesson et al., 1999). 최대 구심성 수축력은 수축 전에 등척성 수축을 한 조건보다 신장조건에서 더 크다고 하였으며, 이러한 증가는 구심성 수축 전에 근섬유(fascicle)의 길이가 길어져 길이-장력 특성과 관련될 수 있다(Finni et al., 2001).

구심성 주기 동안 최대 토오크는 원심성 근수축 직후에 증가되는 것으로 나타났으며(Takarada et al., 1997), 이러한 운동전략은 신장-단축 주기(stretch-shortening cycle)로 언급된다(Enoka, 1996). 신장-단축 주기의 원심성 주기 동안 근방추의 짧은 고빈도 활동(bursts)이 의지적 가동(drive)을 촉진시키는 하나의 기전이 될 수 있다고 가정되었다(Trimble et al., 2000). 신장-단축 주기는 수의적인 등척성 또는 구심성 수축 동안 가능한 것보다 일시적으로 더 크게 근육을 활성화시키는 능동 운동신경원의 축진을 일으킨다. 특히, 하퇴삼두근은 근육이 길어질 때 일어나는 강한 말초적 구심성 피드백과 함께 최대로 활성화될 수 있다(Trimble et al., 2000).

IV. 결 론

일상생활 동작은 구심성과 원심성 수축에 의해 이루어지므로 환자들의 기능훈련을 위해서는 두 가지 수축 형태에 대한 훈련이 필요하다. 특히, 신경계손상 환자들은 구심성 훈련보다 원심성 훈련을 하는 것이 경직성 길항근의 신장반응을 유도하지 않으면서 주동근의 신장반응을 활성화시킴으로써 토오크 생성을 증가시키는데 더 효과적이며, 과제 수행시의 적절한 타이밍과 힘 조절이 불수의적인 신장반응의 출현에 의해 방해받지 않으므로 보다 조화로운 운동을 연습할 것이다. 또한 원심성 운동은 에너지 비용이 더 낮고, 노력이 덜 지각되며, 더 큰 힘을 생성할 수 있다. 실제로 신경계손상 환자 및 근골격계 환자들을 대상으로 한 원심성 훈련은 구심성 훈련에 비해 근력 증가뿐만 기능적 능력을 향상시키는 데도 효과적임이 밝혀졌다.

등장성 수축의 결합 기법에 포함된 원심성 훈련의 효과와 더불어 등척성 수축 후 동적 수축을 유도하는 것은 감마-운동신경원의 활성화와 운동단위의 활성화, 특히 동원된 운동단위의 발화빈도 증가에 의해 보다 큰 힘을 생성할 수 있다. 그리고 원심성 수축 후 구심성 수축을 유도하는 것은 길이-장력 관계의 특성과 근육의 탄성에너지 이용 등으로 능동 운동신경원의 축진을 일으켜 구심성 수축보다 일시적으로 더 큰 근육활성화를 유도한다.

참 고 문 헌

- 김미현 외 역. 고유수용성신경근축진법. 서울: 영문출판사, 2002.
- 박상범, 김미현 역. 운동의 신경생리학적 기초. 서울: 금광출판사, 2002.
- Abbruzzese G, Morena M, Spadavecchia L, & Schieppati M. Response of arm flexor muscles to magnetic and electrical brain stimulation during shortening and lengthening tasks in man. *J Physiol*, 481, 499-507, 1994.
- Andrews AW, & Bohannon RW. Distribution of muscle strength impairments following stroke. *Clin Rehabil*, 14, 79-87, 2000
- Binder-Macleod SA, & Lee SC. Catchlike

- property of human muscle during isovelocity movements. *J Appl Physiol*, 80, 2051-59, 1996.
- Cavanagh PR, Mulfinger LM, & Owens DA. How do the elderly negotiate stairs. *Muscle & Nerve*, 20(S5), 52-55, 1997.
- Christou EA, & Carlton LG. Motor output is more variable during eccentric compared with concentric contractions. *Med Sci Sports Exerc*, 34(11), 1773-1778, 2002.
- Collinder EB, & Tesch PA. Responses to eccentric and concentric resistance training in females and males. *Acta Physiol Scand*, 141, 149-156, 1990a.
- Collinder EB, & Tesch PA. Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol Scand*, 140, 31-39, 1990b.
- Colson S, Pousson M, Martin A, & Van Hoecke J. Isokinetic elbow flexion and coactivation following eccentric training. *J Electromyogr Kinesiol*, 9, 13-20, 1999.
- Connelly DM, Carnahan H, & Vandervoort AA. Motor skill learning of concentric and eccentric isokinetic movements in older adults. *Exp Aging Res*, 26, 209-228, 2000.
- Damiano DL, Martellott TL, Quinlivan JM, & Abel MF. Deficits in eccentric versus concentric torque in children with spastic cerebral palsy. *Med Sci Sports Exerc*, 33(1), 117-122, 2001.
- Dudley GA, Tesch PA, Miller BJ, & Buchanan P. Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviat Space Environ Med*, 62, 543-550, 1991.
- Engardt M, Knutsson E, Jonsson M, & Sternhag M. Dynamic muscle strength training in stroke patients: Effects on knee extension torque, electromyographic activity, and motor function. *Arch Phys Med Rehabil*, 76, 419-425, 1995.
- Engsberg JR, Ross SA, & Park SA. Changes in ankle spasticity and strength following selective dorsal rhizotomy and physical therapy for spastic cerebral palsy. *J Neurosurg*, 91, 727-732, 1999.
- Enoka RM. Neural adaptation with chronic physical activity. *J Biomech*, 30(5), 447-455, 1997a.
- Enoka RM. Neural strategies in the control of muscle force. *Muscle and Nerve*, 20(S5), 66-69, 1997b.
- Enoka RM. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol*, 81, 2339-46, 1996.
- Fang Y, Siemionow V, Sahgal V, Xiong F, & Yue GH. Greater movement-related cortical potential during human eccentric versus concentric muscle contractions. *J Neurophysiol*, 86, 1764-1772, 2001.
- Finni T, Ikegawa S, & Komi PV. Concentric force enhancement during human movement. *Acta Physiol Scand*, 173(4), 369-378, 2001.
- Goggin NL, & Stelmach GE. Age-related differences in a kinematic analysis of precued movements. *Can J Aging*, 9, 371-385, 1990.
- Grabner MD, Owings TM, George MR, & Enoka RM. Eccentric contractions are specified a priori by the CNS. *Proc XVth Congr Int Soc Biomech*, Jyväskylä, 2-6, July, 1995.
- Gür H, Cakin N, Akova B, Okay E, & Kucukoglu S. Concentric versus combined concentric-eccentric isokinetic training: Effects on functional capacity and symptoms in patients with osteoarthritis of the knee. *Arch Phys Med Rehabil* 83, 308-316, 2002.
- Higbie EJ, Cureton KJ, Waren GL, & Prior BM. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol*, 81, 2173-81, 1996.

- Hortobagyi T, Barrier J, Beard D, Braspeninx J, Koens P, Devita P, Dempsey L, & Lambert J. Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *J Appl Physiol*, 81(4), 1677-82, 1996a.
- Hortobagyi T, Hill JP, Houmard JA, Traser DD, Lambert NJ, & Israel RG. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol*, 80(3), 765-772, 1996b.
- Ivanova T, Garland S, & Miller K. Motor unit recruitment and discharge behavior in movements and isometric contractions. *Muscle & Nerve*, 20, 867-874, 1997.
- Kay D, St Clair Gibson A, Mitchell MJ, Lambert MI, & Noakes TD. Different neuromuscular recruitment patterns during eccentric, concentric and isometric contraction. *J Electromyogr Kinesiol*, 10, 425-431, 2000.
- Kisner C, & Colby LA. *Therapeutic exercise: Foundations and techniques*. 4th ed. F.A. Davis Company, 113-120, 2002.
- Knuttsen E, Martensson A, & Gransberg L. Influence of muscle stretch reflexes on voluntary, velocity controlled movements in spastic paraparesis. *Brain*, 120, 1621-1633, 1994.
- Komi PV, & Bosco C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports Exerc*, 10, 261-265, 1978.
- Kossev A, & Christova P. Discharge pattern of human motor units during dynamic concentric and eccentric contractions. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 109, 245-255, 1998.
- Latash ML. *Neurological basis of movement*. Human Kinetics; Champaign, IL, 1998
- Linnamo V, Moritani T, Nicol C, & Komi PV. Motor unit activation patterns during isometric, concentric and eccentric actions at different force levels. *J Electromyogr Kinesiol*, 13, 93-101, 2003.
- Moritani T, & Muro M. Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction. *Eur J Appl Physiol*, 56, 260-265, 1987.
- Mouraux D, Delire R, Sauvage C, Heyters C, & Dugailly P-M. Eccentric isokinetic strength training in stroke patients: Effects on motor function. *Isokinetics and Exercise Science*, 10, 27-28, 2002.
- Nardone A, Romano C, & Schieppati M. Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *J Physiol*, 409, 451-471, 1989
- Sekiguchi H, Kimura T, Yamanaka K, & Nakazawa K. Lower excitability of the corticospinal tract to transcranial magnetic stimulation during lengthening contractions in human elbow flexors. *Neurosci Lett*, 312, 83-86, 2001.
- Stauber WT. Eccentric action of muscles: Physiology, injury, and adaptations. In *Exercise Sports Science Review*, Vol 17, KB Pandolph (Ed.). Baltimore: Williams & Wilkins, 1989.
- Svantesson UM, Grimby G, & Thomee R. Potentiation of concentric plantar flexion torque following eccentric and isometric muscle action. *Acta Physiol Scand*, 152, 287-293, 1994.
- Svantesson UM, Sunnerhagen KS, Carlsson US, & Grimby G. Development of fatigue during repeated eccentric-concentric muscle contractions of plantar flexors in patients with stroke. *Arch Phys Med Rehabil*, 80, 1247-52, 1999.
- Takarada Y, Iwamoto H, Sugi H, Hirano Y, & Ishii N. Stretch-induced enhancement of mechanical work production in frog single

fibers and human muscle. *J Appl Physiol*,
83, 1749-55, 1997.

Trimble MH, Kukulka CG, & Thomas RS.
Reflex facilitation during the stretch-
shortening cycle. *J Electromyogr Kinesiol*,

10, 179-187, 2000.

Westerholt F. Proprioceptive Neuromuscular
Facilitation, International course level IIIA
and IIIB, Daegu, 2003.

