일반화가능도 이론을 이용한 하지의 등속성 검사의 신뢰도 연구*

이한준^{1)***} · 강민수²⁾

1) 울산대학교 2) University of Mississippi

ABSTRACT

Han-joon Lee · Minsoo Kang. Reliability of Isokinetic Knee Strength Measurements Using Generalizability Theory. *The Journal of Kinesiology*, 2017, 19(4): 29-35. **[PURPOSE]** Isokinetic strength test is the measurement of force-velocity or torque angle. Isokinetic strength of the knee extensor and flexor muscle is often assessed using an isokinetic dynamometer such as Cybex system. Question remains concerning the reliability of the isokinetic muscle strength measurements. The purpose of this study was to establish the minimum number of trial required to assess reliable estimates of isokinetic strength measurement using Cybex system(Cybex 770). **[METHODS]** A total of 70 adults (mean age 19.38 ± 3.32 years; 35 male and female each) completed the isokinetic strength tests using Cybex system. Concentric muscle strengths were measured at 60 degrees per second over 4 repetitions. Following data screening, participant's data were finally analyzed by muscle strength measurements (knee extensor and flexor muscles) and gender using the Generalizability theory. A single-facet crossed design [i.e., participant(P) $\times$ trial(T)] was used. G-study was performed to quantify the percentage of variance associated with each facet and interaction in the model. Follow-up D-study was performed to determine the optimal combinations of number of repetition trial to achieve a desirable reliability coefficient ($G \geq .80$). **[RESULTS]** The knee extensor muscle of male and female were 158.48 ± 33.89 Nm and 96.78 ± 23.60 Nm respectively. The knee flexor muscle of male and female were 83.52 ± 31.92 Nm and 45.97 ± 11.94 Nm, respectively. For the knee extensor muscle, the results from G-study show that P accounted for 71% and 90% variance for male and female. T had no effect on the total variance. The number of trials to achieve $G \geq .80$ for male and female were 2 and 1, respectively. For the knee muscle G-study results show that P accounted for 94% and 77% variance for male and female. T had little effect on the total variance ($< 1\%$). The number of trials to achieve $G \geq .80$ for male and female were 1 and 2, respectively. **[CONCLUSIONS]** The number of examination for reliable values is at least 2 times in isokinetic knee strength test.

Key words : reliability, isokinetic, knee strength, generalizability theory

주요어 : 신뢰도, 등속성, 무릎근력, 일반화가능도 이론

서론

등속성 운동은 1967년에 Hislop & Perrine에 의해 소개되었다(Hislop & Perrine, 1967). 등속성 운동은 관절의 움직이는 속도를 저항이 조절하여 일정한 각속도에서 움직임이 이루어지도록 하는 것이다. 움직이는 가동범위내에서 관절의 회전 속도에 따라 저항이 변하면서 일정한 속도를 일으키기 때문에 가동범위 전반에 걸쳐서 근력의 최대 발현이 가능하다. 따라서 등속성 장비는 연구와 임상 현장에서 근육의 수행력과 병리상

태를 평가하는데 일반적으로 사용된다(Dvir, 2004). 현재의 등속성 장비는 구심성 저항과 원심성 저항 모두를 제공해준다. 이러한 등속성 장비를 이용하면 가동범위에서 최대로 훈련할 수 있으며 기능성 자세에서 다양한 각속도로 활용할 수 있다. 또한, 등속성 운동은 관절의 갑작스러운 각속도 증가가 없기 때문에 매우 안전하게 수행될 수 있다. 이러한 이유로 등속성 장비는 트레이닝, 재활, 그리고 임상에서 근골격 기능을 평가하는데 사용되고 있다(Kannus & Perrine, 1994).

검사의 신뢰도(reliability)는 같은 측정을 반복했을

* 이 논문은 울산대학교의 지원을 받아 연구되었음.

** 교신저자: hanjoon@ulsan.ac.kr

때 얼마나 비슷한 값을 갖느냐 정도를 나타낸다. 기존의 신뢰도를 추정하기 위한 연구들은 대부분 고전검사이론(classical measurement theory)에 의존해 왔다. 고전검사이론은 검사의 관찰점수는 진점수와 오차점수의 합으로 구성된다는 가정을 하고 있다. 알파계수 또는 급내상관계수 등이 고전검사이론에 기초한 대표적인 신뢰도 추정방법들이다. 그러나 고전검사이론은 단일 오차원만을 고려하고 있어 측정과정이나 상황에서 발생할 수 있는 여러 가지 오차를 유발하는 요인들에 대한 설명이 불충분하다는 단점이 있다. 따라서 이러한 부분을 극복하기 위해 일반화가능도 이론(Generalizability theory; G theory)이 대두되었다. 일반화가능도 이론은 측정 상황에서 발생할 수 있는 다중오차요인을 동시에 분석할 수 있고, 측정점수에 대한 오차요인의 상대적 영향력을 산출하여 일반화가능도 계수와 함께 의사결정자에게 안정적인 점수를 얻기 위한 측정수준을 제시해 주는 방법이다(Kim & Kim, 2016).

일반화가능도 이론의 신뢰도 추론은 일반화 연구(G study)와 결정 연구(D study) 등 두 단계로 이루어진다(Lee & Han, 2016). 일반화 연구는 측정의 표본이 측정의 전집에 일반화되는 정도를 의미하며 허용 가능한 관찰의 전집과 관계된 조건들의 분산성분 추정값을 산출하는 과정이다. 이것은 오차분산성분의 상대적 크기를 비교하여 각 오차원의 영향력을 분석하여 어떤 요인이 측정의 일반화 과정을 저해하는지 설명해주고 연구 설계 조건을 결정하는 근거로 사용된다. 결정 연구는 일반화 연구 결과로 산출된 각 점수의 분산성분 추정값을 토대로 측정대상과 일반화전집의 정의에 따라 전집점수의 분산, 오차점수의 분산 및 일반화가능도 계수의 정보를 제공해 준다(Kim & Kim, 2016). 따라서, 일반화 연구를 통해 측정에서 발생하는 다중오차요인을 동시에 분석하여 오차요인의 상대적인 기여 정도를 산출하며, 결정 연구를 통해 측정의 신뢰성 계

수와 함께 의사결정자에게 안정적인 점수를 보장하기 위한 측정조건을 제시해 줄 수 있다.

Cho(1991)은 32명의 학생을 대상으로 한 주관적 농구기능검사의 신뢰도 추정연구에서 전체 변량 추정치 중 47.1%가 농구기능의 피험자간 개인차에 의해 설명된다고 하였고, 검사자의 비중은 1.9%로 농구기능점수에서 검사자보다는 피험자의 개인차가 중요한 요인이라고 밝혔다. 태권도 심판 판정의 오차원 분석에서 심판판정시 심판 경력분산이 가장 큰 영향을 준다고 밝혔다. 심판경력이 8년 이상일 때에 가장 안정적인 결과를 나타낸다고 하였다(Jung, 2008).

이에 본 연구는 일반화가능도 이론을 이용하여 무릎의 등속성 근력검사를 실시할 때 신뢰도를 측정하고 신뢰도 있는 최소 반복횟수를 알아보는 것이 목적이다.

연구방법

연구대상

본 연구는 U대학에 재학중인 남녀 대학생으로 모두 35명씩 총 70명을 대상으로 하였다. 대상자는 학교 홈페이지에 게시하여 희망자 중에서 남녀 인원수에 맞게 선착순으로 선발하였다. 피험자들은 검사에 대한 설명을 듣고 검사 동의서에 모두 서명하였다. 피험자의 신체적 특성은 <Table 1>에 요약하였다.

실험설계 및 절차

본 연구에서는 무릎의 등속성 근력 검사점수의 신뢰도에 영향을 미치는 전집점수와 오차원으로 피험자(P)와 측정횟수(T)를 고려하여 단일국면 교차모형(single-facet crossed design)으로 설계하였다. 일반화

Table 1. Physical characteristic of subjects

(M ± SD)

	age(yr)	height(cm)	weight(kg)	BMI	exercise duration (yr)
male (n=35)	19.85 ± 1.55	178.05 ± 4.58	74.88 ± 6.68	23.64 ± 2.26	2.37 ± 1.28
female (n=35)	19.74 ± 1.01	161.94 ± 5.93	57.14 ± 6.19	21.82 ± 2.41	1.54 ± 0.78
t	.365	12.714	11.518	3.252	3.260
p	.717	.001	.001	.002	.002

연구에서는 피험자(P) × 측정횟수(T) 설계에 기초해서 피험자, 측정횟수, 그리고 피험자와 측정횟수의 상호작용(P × T)에 관한 분산성분의 추정값을 산출하였다. 결정 연구에서는 일반화 연구의 추정된 전집점수와 오차원의 분산분석을 활용하여 신뢰도 계수인 일반화가능도 계수(generalizability coefficient)를 산출하였다.

측정항목 및 방법

무릎의 등속성 근력은 Cybex 770(Cybex Inc, USA) 등속성 장비를 이용하여 측정하였다. 검사 당일 검사에 대해 설명하고 검사 동의서에 서명을 받았다. 등속성 검사 절차는 주축발을 먼저 실시하였고, 주축발 검사가 끝난 직후 비주축 발을 검사하였다. 무릎의 굴곡과 신전은 모두 구심성 모드(concentric)를 이용하였고, 각속도 60°/s 속도로 4회의 연습후 4회의 본 검사를 실시하였다.

검사 자세는 의자에 앉은 후 상체는 벨트로 고정을 하였으며 양 손은 좌우 손잡이를 잡지 않고 가슴으로 모아서 하지의 근력을 측정하였다.

자료처리

본 연구의 일반화가능도 연구 설계를 분석하기 위해 1983년 Brennan에 의해 개발된 GENOVA (GENeralized analysis Of VAriance) 프로그램을 이용하였다. 이 프로그램을 이용하여 일반화 연구(G study)와 결정 연구(D study)를 실시하였다. 일반화가능도 이론을 이용한 자료 분석은 무릎의 굴곡과 신전에 대해 주축발을 총 4번 실시한 값으로 하였다. 신뢰로운 무릎 근력 검사 점수를 얻기 위한 최소 측정횟수를 결정하기 위해 일반화가능도 계수 0.8을 기준으로 설정하였다.

결과

본 연구는 남녀 70명을 대상으로 무릎의 등속성 근력을 각속도 60°/s 의 속도에서 측정할 때 신뢰도있는 최소 반복횟수를 알아보는 것이 목적이다. 이에 본 연구에 대한 일반화 연구(G study) 결과와 결정 연구(D study) 결과는 다음과 같다.

무릎 등속성 근력검사의 평균과 표준편차

무릎의 등속성 근력 검사 결과 무릎 신전근력은 남성에서 158.48±33.89Nm로 측정되었고, 여성은 96.78±23.60Nm로 측정되었다. 무릎의 굴곡근력은 남성에서 83.52±31.92Nm로 측정되었고, 여성은 45.97± 11.94Nm로 측정되었다.

일반화 연구(G study) 결과

<Table 2>는 피험자(P)와 측정횟수(T) 그리고 피험자와 측정횟수간의 상호작용에 관련된 분산성분의 추정치와 비율을 계산한 결과를 나타낸다. 무릎 신전근력 검사결과에 따르면 남성과 여성 피험자의 분산성분 추정치(EVC)는 각각 전체분산의 70.96%와 89.60%를 차지하고 있다. 이 결과는 피험자들간의 개인차가 차지하는 비중이 전체 분산성분 추정치 중 거의 대부분을 차지하고 있다는 것을 설명하고 있다. 측정횟수 국면이 차지하는 분산성분 추정치는 남성의 경우 전체 분산의 0%, 여성의 경우 0.3%로 차지하는 비율이 매우 작다. 이 결과는 측정횟수 국면은 무릎 신전근력 검사결과간의 차이에 거의 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다. 피험자와 측정횟수간의 상호작용에 대한 분

Table 2. G study results

	knee extension strength				knee flexion strength			
	male		female		male		female	
	EVC	%	EVC	%	EVC	%	EVC	%
P	1072.450	70.96	557.100	89.60	1032.312	93.86	136.104	76.95
T	0	0.00	0.178	0.03	2.120	0.19	0.192	0.11
P×T	438.801	29.04	640.485	10.37	65.469	5.95	40.570	22.94
total	1511.251	100	621.764	100	1099.895	100	176.866	100

산성분은 전체 분산성분 추정치 중에서 남성이 29.04%, 그리고 여성이 10.37%를 차지했다. 상호작용에 의한 분산성분이 의미하는 것은 본 일반화 연구에서 선정한 오차원(즉, 측정횟수)에 의해 설명되지 않는 잔여분산성분의 비율을 나타낸다.

무릎 굴곡근력 검사결과에 따르면 남성 피험자의 분산성분추정치가 차지하는 비율(93.86%)이 여성 피험자의 분산성분추정치가 차지하는 비율(76.95%)에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 측정횟수 국면이 차지하는 분산성분은 남성과 여성 모두 전체 분산의 0.2%보다 작게 나타났다. 피험자와 측정횟수간의 상호작용에 의한 분산성분추정치는 전체 분산 중에서 남성이 5.95%, 그리고 여성이 22.94%를 차지했다. 무릎 신전근력 검사결과와 마찬가지로 굴곡근력 검사에서도 피험자의 분산성분추정치 비율이 가장 크고 다음으로 피험자와 측정횟수의 상호작용에 의한 분산성분, 측정횟수 분산성분 순으로 나타났다.

결정 연구(D study) 결과

결정 연구(D study)에서는 일반화 연구(G study) 결과에서 산출된 분산성분 추정치를 이용하여 신뢰도 계수(즉, 일반화가능도 계수)를 산출하고 신뢰로운 무릎 근력 검사 점수를 얻기위한 최적의 측정 조건을 제시한다. <Table 3>에 따르면 무릎의 신전근력과 굴곡근력, 그리고 남성과 여성에 상관없이 반복 측정횟수가 증가함에 따라 일반화가능도 계수가 점차 증가하는 것으로 나타났다. 신전근력 검사결과에 따르면 남성의 경우 반복 측정횟수가 2회 이상일 때, 여성의 경우 반복 측정횟수가 1회 이상일 때 일반화가능도 계수가 기댓값인 .8보다 높게 나타났다. 굴곡근력 검사결과에 따르면 남성의 경우 반복 측정횟수가 1회 이상일 때, 여성의 경우 2회 이상일 때 일반화가능도 계수가 기댓값인 .8보다 높게 나타났다. 이 결과는 최소 반복 측정횟수가 2회 이상이면 신뢰할 수 있는 무릎근력 검사점수를 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

Table 3. D study results

repetition (I)	knee extension strength		knee flexion strength	
	male	female	male	female
1	0.71	0.90	0.94	0.77
2	0.83	0.95	0.97	0.87
3	0.88	0.96	0.98	0.91
4	0.91	0.97	0.98	0.93

논의

본 연구는 남녀 대학생을 대상으로 일반화가능도 이론을 이용하여 무릎의 등속성 근력검사를 실시하여 신뢰도있는 최소 반복횟수를 알아보았다.

등속성 장비는 힘과 회전력 등 다양한 매개 변수를 사용하여 평가하고, 주로 회전력을 측정 매개변수로 사용한다(Prentice, 2007). 힘과 회전력은 힘/회전력의 최고치나 평균치를 평가에 적용한다. 등속성 평가는 검사의 신뢰도를 위해서 다양한 변수에 의존한다. 구심성 등속성 검사의 속도는 근력을 측정하기 위해서 일반적으로 60°/sec가 사용된다. 또한 파워의 측정을 위해서는 180°/sec 정도의 각속도가 이용되며, 지구력 측정을 위해서는 240°/sec이상의 속도에서 측정한다(Hageman & Soreson, 1995).

등속성 운동과 평가에서 Kannus & Perrin(1994)은 검사를 위한 프로토콜을 제안하였다. 실제 측정 전에 준비운동으로 최대하에서 3회, 최대에서 3회 실시하고, 최대검사시 4~6회의 반복횟수를 갖도록 제안하였다. 대부분의 등속성 장비(Biodex, Cybex, Kin-Com 등)들의 사용설명서에도 이와같은 반복횟수로 측정하도록 권고되고 있다. 그러나 만약, 최대검사시 4~6회를 실시하지 않더라도 신뢰로운 측정치를 얻을 수 있다면 반복횟수를 줄일 수 있지 않을까라는 것이 본 연구의 목적이었다.

일반화 연구 결과 피험자 분산은 피험자들간의 차이를 의미하는 것으로 전체 분산성분 중 매우 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 신뢰도 계수는 진점수 분산을 진점수 분산과 오차점수를 더한 값으로 산출되는데 본 연구에서는 피험자 분산인 진점수 분산의 비율이 매우 크기 때문에 높은 신뢰도 계수를 얻을 수

있었다. 측정횟수 분산과 설명되지 않는 잔여 분산성분 추정치가 상대적으로 작아서 검사 점수에 영향을 미치지 않는다는 결론을 내렸다. 본 연구의 무릎 신전 검사에서 피험자의 분산성분은 남성에서 1072.45였고 여성에서 557.10으로 전체분산의 70.96%와 89.60%를 차지했다. 이 결과는 피험자들간의 개인차이가 차지하는 비중이 전체 분산추정치에 대부분을 차지한다는 의미이며 여성에서 그 비중이 높다는 것을 나타냈다. 또한 측정횟수 국면의 경우 남성과 여성에서 모두 0% 가까이 나타났는데, 이는 개인차이와 측정횟수간의 결과에서 질적인 차이를 보인 것으로 해석될 수 있다. 즉, 측정값에서 횟수 국면은 검사결과에 거의 영향을 주지 않았다는 의미이다. 이와같은 결과는 등속성 검사가 다른 신체부위는 모두 고정을 시킨 자세에서 관절의 축을 맞춘 자세에서 실시되기 때문에 검사횟수에 따른 가외변인이 적었기 때문으로 판단된다. 무릎 굴곡의 경우에서도 피험자의 분산성분은 남성에서 1032.31이었고 여성에서 136.10으로 전체분산의 93.86%와 76.95%를 차지했다. 측정횟수 국면에서도 남녀 모두 0.2%보다 작게 나타났다. 무릎 굴곡에서도 무릎 신전과 마찬가지로 횟수 국면은 거의 영향이 없었다고 결론내릴 수 있다. 이러한 결과는 Gisela et al.(2007), Joao et al.(2015)의 연구와 비슷한 결과이다.

결정연구(D study)는 연구자가 일반화가능한 일반화전집을 규정하고, 측정치 변화에 영향을 주는 조건을 조정하거나 결정하는 과정이다(So, 2014). 일반화연구(G study)를 통해 추정된 오차원의 분산성분을 최소화한 적정수준에서의 신뢰도를 가질 수 있는 오차국면의 크기 다시말하면 최적의 측정조건을 결정하는 의사결정의 단계이다(Kim, 2010).

본 연구에서 결정 연구 결과는 남녀 모두에서 반복 측정횟수가 증가함에 따라 일반화가능도 계수가 점차 증가하는 것으로 나타났다. 무릎 신전력 측정의 경우 남성은 1회 반복시 0.71의 일반화가능도 계수를 나타냈다. 2회 반복시는 0.83으로 나타났고, 3회 반복시는 0.88, 4회 반복시에는 0.91로 나타났다. 남성의 경우 신뢰로운 수치인 0.8이상은 2회이상 반복시 나타났다. 일반화가능도 계수의 증가는 초기에 크게 증가하다가 3회 이후부터는 증가폭이 작아졌다. 여성의 경우는 1회

실시에도 0.90의 일반화가능도 계수가 나타났다. 2회에는 0.95, 3회 실시에서 0.96, 4회 실시에서 0.97로 나타났다. 이러한 남녀간의 차이는 남성에서 신전력이 여성보다 개인간의 차이가 크지 않았기 때문으로 보인다. 결국 신전력에서 개인간의 차이가 클 경우 적은 횟수로도 신뢰로운 값을 얻을 수 있기 때문이다. 여성에서는 신전근력이 개인간의 편차가 컸기 때문에 1회에도 0.9 이상의 일반화가능도 계수가 나타난 것으로 판단된다.

무릎 굴곡의 경우 남성은 1회 실시에 0.94, 2회 실시에 0.97, 3회 실시에 0.98, 4회 실시에 0.98의 일반화가능도 계수를 나타내었다. 이에 반해, 여성에서는 1회 실시에 0.77, 2회 실시에 0.87, 3회 실시에 0.91, 4회 실시에 0.93의 일반화가능도 계수를 나타냈다. 무릎 굴곡에서는 신전에서와 반대로 남성에서는 1회 만으로도 신뢰로운 값을 나타낸 데 반해서 여성에서는 2회 이상

Figure 1. Graph of generalizability coefficient

실시해야 신뢰기준인 0.8을 넘는 것으로 나타났다. 이렇게 남녀에서 일반화가능도 계수가 다르게 나타난 이유는 남성에서 굴곡근의 개인간의 편차가 여성보다 더 컸기 때문으로 판단된다. 하지의 근력에서 신전근력과 굴곡근력은 신전근력이 더 크다. 통상적으로 신전근에 대한 굴곡근은 0.5에서 0.8이하로 나타나야 정상으로 본다. 따라서 신전근보다 굴곡근에서의 개인간의 편차가 더 크게 나타난다(Maffiuletti et al., 2007). 여성에서는 신전근과 반대로 굴곡근에서는 전체적으로 낮은 근력을 가졌지만, 편차가 적었기 때문에 2회 이상 실시해야 일반화가능도 계수가 0.8을 넘는 것으로 나타났다.

<Figure 1>과 같이 반복 횟수가 증가함에 따라 일반화가능도 계수는 증가한다. 또한 검사자가 많을수록

계수가 높아질 수 있다. 이러한 결과는 여러 선행연구에서도 볼 수 있다. Kim(2010)의 연구에서는 대근운동 발달 평가도구(TGMD-2)의 신뢰도 추정연구에서 준거 문항의 증가보다 채점자 수 그리고 시행횟수의 증가가 일반화가능도 계수의 증가에 더 효율적이라고 밝혔다. Gisela et al.(2007)도 등속성 무릎의 굴곡과 신전에 대한 신뢰도 검사에서 60°/s에서 반복할수록 신뢰도가 높았으며, 근력이 낮을수록 편차가 크다고 밝혔다. So(2014)도 야구의 기능적 움직임 검사(FMS)에서의 신뢰도 검증에서 횟수와 평가자의 수가 많을수록 일반화가능도 계수가 높음을 밝혔다. Hea(2002)도 배구의 기능검사에서 검사자와 횟수가 증가할수록 일반화가능도 계수가 높아짐을 밝혔다.

본 연구에서 남녀에서 신전근력과 굴곡근력에서 신뢰로운 반복횟수의 차이가 나타난 것을 근력의 차이와 편차로 설명했지만, 연구대상이 20대에 한정되어 있기 때문에 좀 더 넓은 연령대에서 측정을 한다면 다른 결과가 나올 수도 있을 것이라 생각된다. 그리고 검사시 검사 방법에 대해서 충분한 설명과 연습의 정도도 신뢰로운 값에 영향을 줄 수 있을 것이라 생각된다.

또한, 중년이나 노년에서는 근력의 변화가 크기 때문에 본 연구와 다른 결과가 나올 수도 있을 것이라 생각된다. 이러한 부분에 대해 추가적인 연구가 진행된다면 등속성 무릎 검사에서 신뢰로운 값을 가장 적은 횟수로 얻을 수 있는 효율적인 검사 방법을 개발할 수 있으리라 생각된다.

결론

본 연구는 등속성 장비를 이용하여 무릎의 신전근력과 굴곡근력을 측정할 때 어느정도의 최소 반복이 신뢰로운 값을 얻을 수 있는지 알아보는 것이다. 본 연구결과 남녀 모두에서 적어도 2회 이상의 반복횟수면 신전근력과 굴곡근력의 신뢰로운 값을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 향후 중년 및 노년에 대해서도 연구가 된다면 보다 명확한 경향을 알 수 있으리라 생각된다.

참고문헌

- Cho, J. H. (1991). *Generalizability coefficient estimation of skinfold thickness test and basketball skill test*. Seoul. Korean National College of Physical Education.
- Dvir Z. (2004). *Isokinetics: muscle testing, interpretation and clinical applications*. 2nd ed. Edinburgh, Churchill Livingstone.
- Gisela Sole, Janas Hamren, Stephan Milosavljevic, Helen Nicholson, John Sullivan (2007). Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion. *Arch Physical Medicine Rehabilitation*. 88: 626-31.
- Hageman, P., T. Soreson. (1995). *Eccentric isokinetics. In Eccentric muscle training in sports and orthopaedics*, 2nd ed., edited by M. Albert. New York: Churchill Livingstone.
- Heo, J. K. (2002). *Generalizability coefficient estimation of subjectely volleyball test*. Seoul. Kookmin University.
- Hislop, H. J., & Perrine, J. J. (1967). The isokinetic concept of exercise. *Physical Therapy* 47(2): 114-17.
- de Araujo Ribeiro Alvares, J.B., Rodrigues, R., de Azevedo Franke, R., da Silva, B.G., Pinto, R.S., Vaz, M.A., & Baroni, B.M. (2015). Inter-machine reliability of the Biodex and Cybex isokinetic synamometers for knee flexor/extensor isometric, concentric and eccentric tests. *Physical Therapy in Sport*. 16: 59-65.
- Jung, Y. H. (2008). Analysis on reliability of referees judgement in Taekwondo competetion applying generalizability theory. Seoul. Kookmin University.
- Kannus, P., & Perrin, D. H. (1994). Isokinetic evaluation of muscular performance: Implications for muscle testing and rehabilitation. Review. *International Journal of Sports Medicine*, 15: S11-S18.

- Kim, S. S., & Kim, Y. B. (2016). *Generalizability theory*. 2nd ed. Paju, Kyoyookbook.
- Kim, Y. D. (2010). *Reliability estimation of TGMD-2 on children with intellectual disabilities using G-theory*. Seoul, Seoul National University.
- Lee, I. H. & Han, K. S. (2016). Analyses of the reliability of the Korean version of Wallach & Kogan creativity test using generalizability theory. *Journal of thinking & problem solving*, 12(3): 1-19.
- Lee, T. K., & Yang, H. (2016). Analysis of error sources and estimation of reliability in peer review of forced connection method-sportscasting by applying Generalizability theory. *Korean Journal of Sport Science*, 27(2): 345-361.
- Maffiuletti N. A., Bizzini, M., Desbrosses, K., Babault, N., & Munzinger U. (2007). Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer. *Clinical Physioogyl Functional Imaging*, 27: pp346-353.
- So, J. Y. (2014). Reliability evidences of functional movement screen(FMS) for high-school baseball palyers utilizing generalizability theory. Seoul, Kookmin University.
- William E. Prentice. (2007). *Rehabilitation techniques for sports medicine and athletic training*, 4th ed. New York: McGraw-Hill