

Correlation between Uni-standing Balance Ability, Jumping Ability, and Anaerobic Lower Extremity Muscle Power of High School Taekwondo Players

Mo-beom Jeong^a 

^aDepartment of Physical Therapy, Chung-Yeon Korean Medicine Hospital, Gwangju, Republic of Korea

Objective: This study analyzed the correlation between uni-standing balance ability, jumping ability, and anaerobic lower extremity power of high school Taekwondo players.

Design: Cross-sectional study

Methods: Two high schools recruited 36 taekwondo players, but 5 were dropped due to personal circumstances and preparations for the tournament, so the number was counted as 31. In order to test uni-standing balance ability, the Romberg test was performed using Biorescue to measure the sway area. In order to test jumping ability, standing long jump and standing highjump were measured. For anaerobic lower extremity muscle power test, the peak power and average power were measured through 30-second pedaling using a Wingate system bicycle.

Results: Participants did not show any correlation with other measures in the uni-standing balance ability test ($p > 0.05$). Looking at the correlation in the standing long jump, standing high jump ($r = 0.892$, $p < 0.05$), anaerobic peak power ($r = 0.698$, $p < 0.05$), anaerobic average leg power ($r = 0.662$, $p < 0.05$) showed a positive correlation. Looking at the correlations in the standing high jump, anaerobic peak power ($r = 0.663$, $p < 0.05$), anaerobic average power ($r = 0.697$, $p < 0.05$) showed a positive correlation. Looking at the correlation in the anaerobic peak power, average power ($r = 0.785$, $p < 0.05$) showed a positive correlation.

Conclusions: This study shows that balance ability and anaerobic leg strength are independent of each other. The results of this study can be used as basic data for the training plan of high school taekwondo players in the future.

Key Words: Taekwondo player, Balance ability, Jumping ability, Anaerobic muscle power

서론

태권도는 우리나라 고유의 전통무예로 자신의 몸을 지키는 호신술로서의 역할 뿐만 아니라 강인한 정신력을 배양하는 스포츠이며 국제올림픽위원회 제 103차 총회에서 태권도가 만장일치로 올림픽 정식종목으로 채택되었다[1]. 올림픽 정식종목 채택 이후로 2000년 시드니 올림픽 경기대회를 시작으로 글로벌적인 성공을 거두어 2020년 210개국이 세계태권도연맹 회원국에 가입되어 있다[2].

스포츠로서의 태권도는 겨루기와 품새 경기로 구분되며 이중 겨루기 경기는 신체중심을 빠르게 움직이면서 제한된 시간과 공간 내에서 상대선수의 움직임 따라잡아 주

먹기술과 발차기를 사용하여 상대선수를 정확하게 가격하는 투기 경기이다[3]. 이때 주먹기술과 발차기는 공격의 주요수단이며 태권도의 화려한 발차기는 경기 특점의 주요변인으로 작용한다[4]. 발차기는 몸통의 회전운동과 무릎관절의 굽힘근과 펴힘근에 의해 이루어지기 때문에 특히 외발서기 균형능력, 순간적으로 공격과 방어 시 순발력 그리고 파워를 낼 수 있는 무산소성 하지근력이 필요하다[5].

외발서기 균형능력은 겨루기 시 주로 이루어지는 발차기 공격에 한발을 딛고 다른 발로 공격에 나서야 하기 때문에 한발로 딛는 지지대의 균형이 선행되어야 공격하는 발이 힘을 낼 수 있다[6]. 이러한 균형능력은 지지하는 다

Received: Dec 7, 2021 Revised: Dec 14, 2021 Accepted: Dec 15, 2021

Corresponding author: Mo-beom Jeong (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2750-1078>)

Department of Physical Therapy, Chung-Yeon Korean Medicine Hospital, 30-19, Seochang-gil, Seo-gu, Gwangju, Republic of Korea

Tel:***-****-**** E-mail: mobeom_j@daum.net

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2021 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

리의 발목관절에서 앞정강근(tibialis anterior), 긴종아리근(peroneus longus) 등이 활성화 되고 회전 운동 시 배곧근(rectus abdominis) 작용을 통해 하지를 체간으로 끌어 당기며 척추세움근(erector spinae)도 활성화되어 발목관절부터 몸통까지 신체 분절의 복합적인 협응(coordination)이 필요하다[7]. 이러한 협응능력을 필요로 하는 균형감각의 상태를 알아보는 검사로 외발서기를 실시하여 동요면적을 통해 균형능력을 측정하는 방법이 사용되고 있다[8]. 상대방 선수에게 순간 다가서거나 상대방 선수의 공격을 피하면서 뒤로 빠질 때 점프와 함께 움직이게 되며 순발력이 요구된다[9]. 순발력은 선행연구[10,11]에서 제 자리 높이뛰기와 제 자리 멀리뛰기를 사용하여 측정하며 특히 제 자리 높이뛰기 동작은 태권도 기술의 성공과 착지를 완성하기 위한 필수적인 요소라 판단된다[12]. 또한 투기 경기로써 순간적으로 상대방을 강하게 타격하여 무력화시킬 수 있는 무산소성 하지근력의 발달도 중요하다[13]. 원게이트 검사가 무산소성 파워를 평가하기 위한 검사로는 널리 사용되고 있으며 최대파워는 초기에 측정되어 무산소 파워의 지표로 사용된다[14].

최근 연구들[15,16]에 따르면 부족한 균형능력과 점프능력을 체중부하나 무게를 이용한 저항 운동을 통해 하지근력을 강화하여 효과적인 개선을 가져오는 연구는 많지만 중재 전에 균형능력과 점프능력 그리고 무산소성 하지근력과의 상관관계를 파악한 연구는 부족한 실정이다. 특히 균형능력과 하지근력 사이의 큰 상관관계는 신경근 구성 요소가 상호 연결되어 있으며 서로 독립적이지 않음을 의미한다. 따라서 하지근력에서 달성된 성능은 균형능력이나 점프능력의 성능으로 이전될 수 있다. 그 반대의 경우에도 마찬가지이며 균형능력과 하지근력 사이의 작은 상관관계는 이러한 신경근 구성요소가 서로 독립적이므로 상호 보완적인 테스트를 하고 훈련해야 할 수 있음을 의미한다[15]. 이들의 상관관계는 하지근력 강화 운동이 근력강화를 통해 균형능력과 점프능력에 직접적으로 연관되어 있는지를 다시금 고려해보는데 도움이 될 것으로 사료되며 추후 훈련 시 균형능력과 점프능력 그리고 하지근력 운동의 구분이 필요 할 것인지에 대해 고려해 볼 수 있다. 이에 본 연구를 통해 고등학교 태권도 겨루기 선수들의 경기력 향상과 훈련계획을 세우는데 기초자료를 마련하고자 태권도 겨루기 선수들에게 필요한 균형능력과 점프능력, 무산소성 하지근력과의 상관관계 연구를 진행하였다.

연구 방법

연구 대상

본 연구는 태권도 겨루기 선수들을 대상으로 하나의

고등학교에 해당되는 인원이 많지 않기에 G시 소재의 D고등학교와 G고등학교, 두 개의 고등학교를 선정하였다. 대상자는 실험 참여에 자발적으로 동의하고 연구 동의서에 직접 서명한 대상자만 연구에 참여하였다. 또한 대상자는 실험 도중에 통증을 호소하거나 중도 하차를 결정한 경우, 어떠한 불이익도 없으며 개인정보와 관련된 어떠한 정보도 공개하지 않을 것을 공지하였다. 본 연구에 대한 설명을 듣고 참여에 동의한 태권도 겨루기 선수 36명을 모집 하였으나 측정 당일 불참과 대회 준비일정으로 인해 5명이 탈락하여 31명을 대상으로 하였다. 대상자 선정 기준은 본 연구의 측정을 진행하는데 특별한 제약이 없으며 신경학적 증상이 없으며 근골격계 장애 및 기형이 없고 상지와 하지에 통증 및 운동제한이 없는 대상으로 실시하였다. 연구 대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

Table 1. General characteristics of the subjects (N=31)

Characteristics	Value
Sex (male / female)	24 / 7
Age (years)	17.94 (0.89)
Height (cm)	173.54 (5.31)
Weight (kg)	64.97 (8.65)

The values are presented mean (SD).

측정방법 및 도구

외발서기 균형능력 검사

정적 및 동적 균형능력 측정 장비(Biorescue, RM INGENIERIE, France)는 감압 플랫폼과 동작 분석시스템으로 구성되어 정적 균형과 더불어 일상생활 속 전방, 후방, 좌측, 우측 움직임과 앉기 및 서기에 필요한 동적 균형능력을 검사할 수 있는 장비로, 압력중심의 이동 경로를 관찰하여 이동 경로선의 면적과 길이, 평균 속도를 알 수 있다. 본 연구에서는 동적 균형능력은 외발서기 시 수행이 어렵다고 판단되어 외발서기 정적 균형능력 검사를 위해 롬버그 검사를 실시하여 측정하였다. 실험방법을 동영상으로 통해 설명한 후 먼저 시범을 보인 다음 실시하였다. 롬버그 검사는 전방을 주시하게 하고 대상자가 눈을 뜬 자세에서 1분 동안 중심을 잡으며 움직이지 않고 외발서기로 서 있는 동안 신체 중심 동요 면적을 측정하였다. 면적이 작을수록 균형능력이 좋은 것을 의미하며 3회 측정하여 평균값을 결과 값으로 사용하였다. 이 도구의 검사-재검사 급내 상관계수(ICC; intraclass correlation coefficient) ICC=0.84로 높은 신뢰도를 가진다[17].

점프능력 검사

제 자리 멀리뛰기

양 발을 가볍게 벌린 다음 발끝이 출발선을 넘지 않도록 선다. 도움닫기 없이 팔이나 체간을 사용하여 충분한 반동과 함께 발로 힘차게 도약하여 전방으로 가능한 한 멀리 뛰어 착지하여 출발선에서 직각으로 가장 가까운 착지점까지의 거리를 측정한다. 거리단위는 cm으로 기록한다. 2회 실시하여 높은 쪽을 기록하고 뒤로 넘어져 신체의 일부분이 지면에 닿으면 무효로 하고 다시 한 번 실시한다[18].

제 자리 높이뛰기

제 자리 높이뛰기 검사는 JUMP-MD(TKK5406, TAKEI, Japan)를 이용하여 두 발을 바닥에 붙이고 무릎을 약 90°로 굽히고 최대한 높게 수직으로 뛰기를 실시하였다. 뛰기 시 팔의 반동은 허용하며 2회 실시하여 높은 쪽을 선택하여 거리단위는 cm으로 기록한다[19].

무산소성 하지근력 검사

무산소성 하지근력 검사는 원게이트시스템(894E, MONARK, Sweden) 자전거를 사용하여 체중에 0.075를 곱한 값을 부하로 하여 측정하였다. 측정 5초전부터 예비구령을 실시하여 검사자가 측정 시작 시 최대의 페달링(pedaling)을 할 수 있도록 하였고 검사는 30초간 최대한 빠른 속도로 자전거를 페달링 하도록 지시하여 측정하였다. 해당검사로 최대파워(peak power), 평균파워(average power)를 측정하였다[14].

자료 분석

수집된 자료들의 정규성을 검증하기 위해 Shapiro-Wilk 분석을 실시하여 모든 자료의 정규분포를 확인하였다. 상관관계를 알아보기 위해 Pearson 상관분석의 이변량 상관

계수를 구하였다. 통계처리는 SPSS 프로그램(ver. 21.0, SPSS Inc, USA)을 이용하였으며 모든 통계학적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다

연구 결과

외발서기 균형능력 검사

외발서기 균형능력 검사의 오른발 서기 측정과 왼발 서기 측정의 기술통계는 다음과 같다(Table 2). 외발서기 균형능력 검사에서는 오른발 서기와 왼발 서기에서 다른 측정결과와 상관관계를 보이지 않았다($p>0.05$)(Table 3).

점프능력 검사

점프 능력 검사의 제 자리 멀리뛰기 측정과 제 자리 높이뛰기 측정의 기술통계는 다음과 같다(Table 2). 제 자리 멀리뛰기에서의 상관관계를 보면, 제자리 높이뛰기($r=0.892$, $p<0.05$), 무산소성 하지근력 최고파워($r=0.698$, $p<0.05$), 무산소성 하지근력 평균파워($r=0.662$, $p<0.05$)에서 양의 상관관계를 보였다. 제 자리 높이뛰기에서의 상관관계를 보면, 무산소성 하지근력 최고파워($r=0.663$, $p<0.05$), 무산소성 하지근력 평균파워($r=0.697$, $p<0.05$)에서 양의 상관관계를 보였다(Table 3).

무산소성 하지근력 검사

무산소성 하지근력 검사의 최고파워, 평균파워 측정의 기술통계는 다음과 같다(Table 2). 무산소성 하지근력 최고파워에서의 상관관계를 보면, 무산소성 하지근력 평균파워($r=0.785$, $p<0.05$)에서 양의 상관관계를 보였다(Table 3).

고찰

태권도 겨루기의 특성은 정해진 시간 안에 최대 운동능

Table 2. The Measured variable descriptive statistics

(N=31)

	Value	
Uni-standing balance ability	Right leg standing (mm ²)	2038.26 (628.04)
	Left leg standing (mm ²)	1801.77 (625.58)
Jumping ability	Standing long jump (cm)	215.68 (25.11)
	Standing high jump (cm)	40.03 (7.49)
Anaerobic lower extremity muscle power	Peak power (W/kg)	8.06 (1.75)
	Average power (W/kg)	6.05 (1.05)

The values are presented mean (SD).

Table 3. The correlation between uni-standing balance ability, jumping ability and anaerobic lower extremity muscle power (N=31)

		RLS	LLS	SLJ	SHJ	PP	AP
RLS	Pearson's correlation	1					
	P						
LLS	Pearson's correlation	0.134	1				
	P	0.471					
SLJ	Pearson's correlation	-0.104	0.268	1			
	P	0.580	0.145				
SHJ	Pearson's correlation	-0.138	0.205	0.892*	1		
	P	0.458	0.268	0.000			
PP	Pearson's correlation	-0.050	0.100	0.698*	0.663*	1	
	P	0.789	0.594	0.000	0.000		
AP	Pearson's correlation	-0.145	0.131	0.662*	0.697*	0.785*	1
	P	0.436	0.481	0.000	0.000	0.000	

RLS: right leg standing balance ability, LLS: left leg standing balance ability, SLJ: standing long jump ability, SHJ: standing high jump ability, PP: peak power (anaerobic lower extremity muscle power), AP: average power (anaerobic lower extremity muscle power).

* $p < 0.05$, statistically significant difference.

력을 발휘하여 상대방과 겨루는 투기 경기로 중요한 체력 요인으로 신경근의 발현과 협응성에 있다[20]. 이러한 신경근 발현과 협응성 요소중 외발서기 균형능력과 점프능력, 무산소성 하지근력을 평가하여 상관관계를 파악하고자 하였다.

균형능력과 무산소성 하지근력 사이에서의 상관관계가 있음을 암시하는 이유들이 있다. 그 이유로는 선행연구들 [21-23]에 따르면 균형과 하지근력의 결핍은 부상 및 낙상의 발생과 유의하게 관련되어 있다. 그리고 균형능력과 하지근력의 조절을 담당하고 있는 신경생리학적 구조가 유사하다. 예를 들어 Ia 구심성 정보는 운동 뉴런에서 작용하는 시냅스(synapse) 억제의 매개를 통해 순간적인 힘을 내는 것 뿐만 아니라 균형조절 모두에 중요하다. 또한 선행연구들[24-26]에서 훈련 관련 개선효과가 균형능력에서 하지근력으로 또는 반대로 전달되는 모습을 볼 수 있다.

본 연구의 결과는 외발서기 균형능력 검사결과와 다른 결과들 사이에서의 상관관계를 볼 수 없었고 이것은 균형능력과 하지근력 사이의 상관관계를 암시하는 추측과 상반되며 균형능력과 하지근력 사이가 독립적임을 암시한다. 이는 피질척수 경로의 활성화와 같은 유사한 신경생리학적 기전이 균형능력과 순간적인 힘의 조절에 관여하지만 수행하는 작업에 따라 다르다[27,28]. 근력 또는 균형 관련 작업을 수행하는 동안 척수 및 척수 피질 흥분성

을 조사한 연구에서 서로 다른 활성화 패턴을 보여주었다 [29,30]. 그리고 균형훈련 후 근력 향상과 근력운동 후 균형 향상 측면에서 전이효과가 있다는 연구[25,26]가 보고되었지만, 작업 특수성에 따른 적응(adaptation)인 것으로 밝혀졌다[24,27].

점프 능력 검사에서 제 자리 높이뛰기의 상관관계를 보면, 제 자리 멀리뛰기, 무산소성 하지근력 최고파워, 무산소성 하지근력 평균파워에서 양의 상관관계를 보였고 제 자리 멀리뛰기에서의 상관관계를 보면, 무산소성 하지근력 최고파워, 무산소성 하지근력 평균파워에서 양의 상관관계를 보였다. 다양한 스포츠에서 점프, 가속, 방향 전환과 같은 폭발적인 행동은 경기력에 결정적으로 기여한다 [31,32]. 이러한 동작은 초단위의 시간 범위 내에서 고속으로 근육과 외력을 생성하는 능력에 크게 의존한다[33]. 이러한 짧은 시간 동안의 근육 작용을 위한 에너지는 유산소적으로 생성되지 않기 때문에 그 능력은 무산소성 파워로 불릴 수 있다[34]. 즉 순간적으로 폭발적인 파워를 낼 수 있는 능력을 말하는 것으로 점프 시에 사용되는 것으로 볼 수 있다. 위의 결과로 인해 점프능력은 무산소성 하지근력과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

본 연구의 결과로 보면 외발서기 균형능력과 다른 측정 결과 사이에서 상관관계를 볼 수 없기 때문에 균형능력은 독립적이고 이는 훈련계획 시 균형운동과 근력운동의 차이를 보여야 함을 유추할 수 있다. 또 점프능력이 무산소

성 하지근력과 상관을 보이므로 보아 순간적으로 폭발적인 힘을 내야 하는 점프능력은 무산소성 파워에 해당한다고 볼 수 있을 것이다. 결과적으로 본 연구에서는 태권도 겨루기 선수들에게서 균형능력의 훈련과 무산소성 하지근력과 상관이 보이지 않으므로 각각의 능력 증진을 위해서는 훈련의 양상이 달라져야 하며 훈련 방법 또한 구분 되어져야 함을 알 수 있었다. 또한 무산소성 하지근력의 증진을 위하여 점프를 이용한 훈련을 사용할 수 있음을 알 수 있다. 본 연구의 목적은 외발서기 균형능력, 점프능력, 무산소성 하지근력의 상관관계를 비교하여 중재와 운동의 시작점에서 이들의 차이를 보고 각각에 맞게 운동프로그램이 적용되어지길 바램으로 진행하였다. 그러나 사람을 대상으로 하는 연구이기 때문에 동질성을 최대한 확보하기 위해 하나의 고등학교에서 인원을 모집하려 하였으나 고등학교 태권도 겨루기 선수들의 여건과 인원수 제한으로 인해 두 고등학교에서 인원을 차출하였고, 일반화 하기에는 연구대상자 수가 적었다는 것이 제한점이다. 추후 이 연구와 더불어 무산소성 하지근력과 등속성 하지근력 측정을 통한 비교도 유의미 결과를 찾아 볼 수 있을 것으로 사료되며 이를 바탕으로 더 많은 대상자를 측정하여 고등학교 태권도 겨루기 선수들의 경기력 향상과 훈련계획에 도움이 되었으면 한다.

결론

본 연구는 고등학교 태권도 겨루기 선수들의 외발서기 균형능력과 점프능력, 무산소성 하지근력의 상관관계를 알아보는데 목적이 있다. 외발서기 균형능력 검사에서는 다른 측정결과와 상관관계를 보이지 않았다. 제 자리 높이 뛰기에서의 상관관계를 보면, 제 자리 멀리뛰기, 무산소성 하지근력 최고파워, 무산소성 하지근력 평균파워에서 양의 상관관계를 보였다. 제 자리 멀리뛰기에서의 상관관계를 보면, 무산소성 하지근력 최고파워, 무산소성 하지근력 평균파워에서 양의 상관관계를 보였다. 무산소성 하지근력 최고파워에서의 상관관계를 보면, 무산소성 하지근력 평균파워에서 양의 상관관계를 보였다. 따라서 본 연구의 결과가 추후 고등학교 태권도 겨루기 선수들의 훈련 계획의 기초자료로 사용 될 수 있을 것으로 생각된다.

이해 충돌

본 연구의 저자들은 연구, 저작권, 및 출판과 관련하여 잠재적인 이해충돌이 없음을 선언합니다.

참고문헌

1. Yang DJ, Choi EY, Park DS, Park SK. The Effects of Kinesio-Taping of Lower Limbs on Muscle Activity for Taekwondo Athletes. *Korean Academy of Clinical Electrophysiology*. 9(1):35-9.
2. Kim BG. Effects of Taekwondo Globalness on National Image and Loyalty : Moderating Effects of Taekwondo Typicality. 12(1):89-98.
3. Kim WK, Jeon MJ. A study on the isokinetic muscle strength and muscle endurance of male high school Taekwondo athletes. *Korean Journal of Physical Education*. 45(5):381-8.
4. Park KN, Suh JM. Taekwondo national team players' international stage final and semi-final kick technical analysis. 21(4):27-39.
5. Yoon JW, Park JC. The muscular power training program development for a Taekwondo condition power improvement. 16(4):817-27.
6. Park JM, Seo DW. Effects of Regular Taekwondo Poomsae Training on Physical Fitness and Balance Capability in Elementary School Children. *of Sport and Leisure Studies*. 67:575-82.
7. Son YN, Kim CK, Sin KC. The Muscle Activity for Movement Analysis of 540° Dui Huryo Chagi in Taekwondo. *of Sport and Leisure Studies*. 62:893-901.
8. Kim DH, Zhang R, Kim KH. Effects of standing position of the trunk stabilization exercise on balance and gait of Guillain-Barre patients, case report. 27(2):88-95.
9. Kwon TW, Cho HS. A Study on the Way of Training for physical fitness for players of Tae Kwon Do Demonstration and Gyurugi (Competition). 26(4):1217-25.
10. Choi KW, Lee SJ, Park WY. Effects of 8week Plyometric training on power, dynamic balance and joint position sensory in Taekwondo demonstrator. 38(4):1107-16.
11. Yeon BH. Effects of Weight Training on Power and Isokinetic Function in University Taekwondo Players. 18(4):91-100.
12. Shin HC, Kim HS. The Comparative Analysis of Lower Extremity Movement Pattern in Vertical Jumps between Taekwondo Demonstration Members and Healthy Young Men. 7(1):105-18.

13. Kim WK, Park MS. The Difference of Isokinetic Strength of Knee and Ankle Joint in College Taekwondo Competition and Poomsae Players. *of Sport and Leisure Studies*. 39(2):615-23.
14. Park EK, Chung JW, Jin YS, Chung JS. Association of skill-related fitness with dynamic balance, isokinetic knee strength, and anaerobic power in youth elite soccer player. *Korean Journal of Physical Education*. 48(3):577-84.
15. Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U. Associations between measures of balance and lower-extremity muscle strength/power in healthy individuals across the lifespan: a systematic review and meta-analysis. *Med*.45(12):1671-92.
16. Behm DG, Young JD, Whitten JH, Reid JC, Quigley PJ, Low J, et al. Effectiveness of traditional strength vs. power training on muscle strength, power and speed with youth: a systematic review and meta-analysis. *Physiol*. 8:423.
17. Song GB, Park EC. The effects of balance training on balance pad and sand on balance and gait ability in stroke patients. *Korean Soc Phys Med*. 11(1): 45-52.
18. Kwon TW. A Study on the Reliability between the Power Tests of Sargent Jump, Standing Long Jump, and Standing Vertical Jump used by Helmas Power Tester. 16(4):169-77.
19. Park WY. Effects of plyometric training on Sargent jump, posture control and lower extremity injury criterion in Taekwondo demonstrator. 2021;38:851-9.
20. Yoo S, Park SK, Yoon S, Lim HS, Ryu J. Comparison of proprioceptive training and muscular strength training to improve balance ability of taekwondo poomsae athletes: A randomized controlled trials. *Sports Sci Med*. 17(3):445.
21. Razmus I, Wilson D, Smith R, Newman. Falls in hospitalized children. *Pediatr Nurs*. 2006;32(6):568-72.
22. Wang HK, Chen CH, Shiang TY, Jan MH, Lin KW. Risk-factor analysis of high school basketball-player ankle injuries: a prospective controlled cohort study evaluating postural sway, ankle strength, and flexibility. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006; 87(6):821-5.
23. Fousekis K, Tsepis E, Poulmedis P, Athanasopoulos S, Vagenas G. Intrinsic risk factors of non-contact quadriceps and hamstring strains in soccer: a prospective study of 100 professional players. *Br J Sports Med*. 2011;45(9):709-14.
24. Gruber M, Taube W, Gollhofer A, Beck S, Amtage F, Schubert. Training-specific adaptations of H- and stretch reflexes in human soleus muscle. *J Mot Behav*. 2007;39(1):68-78.
25. Granacher U, Gollhofer A, Kriemler S. Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. *Res Q Exerc Sport*. 2010;81(3):245-51.
26. Granacher U, Gruber M, Gollhofer A. Resistance training and neuromuscular performance in seniors. *Int J Sports Med*. 2009;30(9):652-7.
27. Gruber M, Gruber SB, Taube W, Schubert M, Beck SC, Gollhofer A. Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development and neural activation in humans. *J Strength Cond Res*. 2007;21(1):274-82.
28. Beck S, Taube W, Gruber M, Amtage F, Gollhofer A, Schubert M. Task-specific changes in motor evoked potentials of lower limb muscles after different training interventions. *Brain Res*. 2007;1179:51-60.
29. Morita H, Olivier E, Baumgarten J, Petersen NT, Christensen LOD, Nielsen JB. Differential changes in corticospinal and Ia input to tibialis anterior and soleus motor neurones during voluntary contraction in man. *Acta Physiol Scand*. 2000;170(1):65-76.
30. Taube W, Schubert M, Gruber M, Beck S, Faist M, Gollhofer A. Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance. *J Appl Physiol*. 2006;101(2):420-9.
31. Scharer C, Lehmann T, Naundorf F, Taube W, Hubner K. The faster, the better? Relationships between run-up speed, the degree of difficulty (D-score), height and length of flight on vault in artistic gymnastics. *PLoS ONE* 2019;14(3):e0213310.
32. Gross M, Greeley NB, Hubner K. Prioritizing Physical Determinants of International Elite Pole Vaulting Performance. *J. Strength Cond. Res*. 2020; 34(1):162-71.
33. Gross M, Schellenberg F, Lüthi G, Baker M, Lorenzetti S. Performance determinants and leg kinematics in the BMX supercross start. *J. Sci. Cycl*. 2017;6(2);3-12.
34. Heck H, Schulz H, Bartmus U. Diagnostics of anaerobic power and capacity. *Eur. J. Sport Sci*. 2003;3(3):1-23.