냉요법 적용에 따른 운동기능의 변화: 제언

박지홍*

경희대학교

ABSTRACT

Jihong Park. Cold Application and Functional Performance. *KINESIOLOGY*, 2015, 17(2): 29-47. **[PURPOSE]** The use of the cold application is common for treating musculoskeletal injuries as well as facilitating athletic performance. It is, therefore, important to organize the results and mechanisms associated with cryotherapy from the literature. The purpose of this review paper is to search the literature for original studies examining the effects of cryotherapy on functional performance and make suggestions and recommendations regarding the use of cryotherapy in the field of sports medicine. **[METHODS]** Goggle Scholar, MEDLINE (Ebsco and Pubmed), SPORTDiscus (Ebsco) with a cross-reference for identification of appropriate studies were performed. This search was limited to the studies having cryotherapy groups compared to a control group and measuring functional performance in healthy individuals. Selected studies also had been published after 1990 in English. **[RESULTS]** Among thirty-four remained studies, nine reported no effect, four reported partly affected, six reported improvement, and fifteen studies reported cold application produced performance deficits. **[CONCLUSIONS]** The effects of the cold application on proprioception, strength, and balance are unclear. Flexibility appears to increase while power and agility are negatively affected by the cold application. Reduced performance was recovered back to the baseline level in ten minutes and active warm-up tends to enhance this process. Sports medicine practitioners should be aware of potential alterations by cold application and select an appropriate mode and parameters of cryotherapy depending on a sport and specific movements.

Key words : proprioception, flexibility, strength, power, agility, balance

주요어 : 고유수용감각, 유연성, 근력, 파워, 민첩성, 균형감각

서론

적은 비용으로 간단하게 처치할 수 있는데 비해 큰 효과를 볼 수 있는 냉요법(cold application 혹은 cryotherapy)은 아마도 운동으로 인한 부상의 응급처치와 재활치료에 가장 일반적일 것이다. 냉요법은 “체온보다 낮은 온도의 장비나 물질을 이용하여 신체의 열을 빼앗아 그 부위의 온도를 낮추는 치료”이다(Knight & Draper, 2013). 그 방법으로 얼음주머니(ice bag), 얼음팩(cold pack), 얼음마사지(ice massage), 찬 물(cold water immersion: CWI), 냉 스프레이(cold spray), 냉 압박 유닛(cold-compression unit), 그리고 냉 캐빈(cryo-cabin or cryogenetic chamber)이 있다.

급성기 근골격계 부상(직후 72 혹은 96시간 까지)에서 냉요법 사용의 첫 번째 기능은 부상부위의 온도를 낮추어 부상부위 내 손상되지 않은 세포들의 대사활동을 감

소시키는 것이다(Oliveira et al., 2006). 그 결과로 세포의 2차 손상(예: metabolic and enzymatic injury: Merrick, 2002)을 막아 더 붓는 것을 방지하고, 그로인해 회복해야 하는 세포의 총 양도 줄어든다(Deal et al., 2002).

급성기 시 냉요법의 두 번째 기능은 통증감소로서(Knight & Draper, 2013), 신경생리학적 기전으로 신경 전달속도(Arvidsson et al., 1986), 통증수용체 방출량(Wexler & Mayer, 1973), 그리고 통증수용체 민감도의 감소(Kunesch et al., 1987)를 들 수 있다. 또한 반대자극제(counter-irritant)로서 척수 내 통증전달의 신경통로를 차단하고(예: gate control theory: Melzack & Wall, 1965) 통증억제 호르몬(예: endorphin)의 분비를 촉진시켜 통증을 줄이는 것으로 설명되고 있다(Saeki, 2002).

위 언급한 급성기 냉요법의 활용은 부상부위의 일시적인 통증감소 혹은 무감각의 상태로 만들어 부상부위를 움직일 수 있게 해 준다. 이를 “cryokinetics”라 하는데 1964

* 교신저자: jihong.park@khu.ac.kr

년 Grant와 Hayden에 의해 소개된 이후 많은 연구자들과 운동사들이 발목염좌에서 그 효과를 보고 하였다. 그 기전으로, 국소온도 감소에 의한 혈관확장(cold-induced vasodilation: CVD)이 일어나고, 그에 따른 혈류량의 증가가 회복과 복귀를 앞당기는 요인이라고 설명하였다 (Moore et al., 1967; Edwards, 1971; Behnke, 1973).

이후 CVD는 일어나지 않거나 일어나더라도 정상적인 혈액공급에 영향을 미치지 않는다고 보고되면서(Knight & Londeree, 1980), 현재 cryokinetics의 효과는 혈액의 증감보다는, 냉요법에 의한 통증의 일시적 감소로 인한 이른 시기의 관절움직임(early movement)에서 시작된다고 생각된다(Pietrosimone & Hopkins, 2008). 이른 시기의 관절움직임은 부상으로 인한 고유수용기(proprioceptors)의 기능 저하를 지연시키고 부종을 감소시켜 통증감소를 도와 재활단계를 거쳐 빠른 복귀를 돕게 되는 것이다.

위에서 언급한 치료목적과 달리 스포츠현장에서는 흔히 부상이 없는 신체조직에 냉요법이 적용되기도 한다. 상해치료 목적이 아닌 운동기능 향상으로서의 효과에 대한 관심이 많아지면서 그 상관관계를 관찰하여 결과와 기전을 일반화하려는 노력도 많다. 현재까지 냉요법과 운동기능을 살펴본 연구는 무수히 많으며 상이한 결과들을 보고하고 있어 각 연구논문의 냉요법 방법, 운동기능 측정변인과 방법, 결과도출, 그리고 그에 따른 기전설명을 분석해볼 필요가 있다.

따라서 본 총설은 스포츠 현장에서 흔히 쓰이는 냉요법이 주요 운동기능을 변화시키는지 살펴보고 기전은 무엇인지 생리학적, 신경학적, 그리고 역학적으로 분석하고 그 결과의 방향을 종합하는데 목적이 있다. 본 총설의 결과로 현장지도자와 운동사에게는 현장에서 종목에 맞는 적절한 냉요법 처치방법을 제시하고 연구자에게는 추후 연구문제를 제안하여 스포츠현장에서 과학적 증거에 기반한 냉요법 처치가 이루어지기를 기대한다.

연구방법

문헌조사

Google Scholar, MEDLINE (Ebsco and Pubmed), SPORTDiscuss (Ebsco), 그리고 cross-reference를 통해

아래와 같은 주제어로 검색하였다. 검색된 연구논문 중, 최근 25년 내 출판된 연구(1990년 이후), 영어로 쓰여진 연구, 부상이 없는 건강한 신체를 대상으로 한 연구, 냉요법을 처치하지 않은 대조군과 비교한 연구, 그리고 운동기능(고유수용감각, 유연성, 근력, 파워, 민첩성, 그리고 균형감각)을 측정변인으로 보고한 연구만 선택하여 분석하였다.

주제어: agility, afferent sensory input, agility, athletic performance, balance, balance error scoring system, cold application, cold compression unit, cold-induced vasodilation, cold cabin, cold pack, cooling, cryogenic chamber, cold application, cold water immersion, cryokinetics, cryostretch, cryotherapy, delayed onset muscle soreness, dynamic, endurance, facilitation, fatigue, functional movements, golgi tendon organ, ice bag, ice bath, ice massage, ice immersion, injury prevention, isokinetic, isometric, isotonic, joint, joint injury, joint laxity, joint position sense, joint receptor, kinesthesia, maximal voluntary isometric contraction, mechanoreceptors, muscle activation, muscle receptor, muscle spindle, postural sway, pre-cooling, proprioception, proprioceptive, proprioceptors, pain, power, recovery, resistance, spasticity, speed, static, strength, stretch reflex, stiffness, temperature receptors, time to stabilisation, torque, t-test, vertical jump, velocity

검색된 연구논문들은 고유수용감각(proprioception), 유연성(flexibility), 근력(strength), 파워(power), 민첩성(agility), 그리고 균형능력(balance)으로 분류하여 분석하였다. 모든 운동기능의 증감은 연구논문에서 통계적 차이가 있다고 보고한 결과만으로 서술하였다.

결과

위 검색어를 이용한 최초 검색에서 총 13,450편 (Google Scholar: n=14,400; MEDLINE: n=576; SportDiscuss: n=111)의 논문 및 초록이 검색되었다. 그 중, 피로회복에 관한 연구 (n=6,763), 부상 및 질병 대상자에 적용한 연구 (n=4,420), 초록만 발표된 연구 (n=821), 대조군의 부재 (n=441), 1990년 이전 출판

된 논문 (n=418), 총설 (n=245), 증례보고 (n=214), 그리고 영어 이외 다른 언어로 출판 (n=94) 등의 이유로 13,416편이 제외되었다.

선별기준에 따라 남은 총 서른 네 편의 연구논문 중, 아홉 편이 운동기능에 변화가 없음을, 네 편은 측정변인 중 부분적으로 변화가 있었다고 보고하였으며, 여섯 편이 기능향상을, 그리고 열다섯 편의 연구논문은 기능감소를 보고하였다(Table 1 - 6).

냉요법 처치를 살펴보면, CWI를 사용한 연구가 열일곱 편으로 가장 많았으며, 얼음주머니를 처치한 연구가 열두 편(한 편은 수건에 얼음을 넣어 사용), 냉찜버가 두 편, 얼음팩이 두 편, 냉 압박 유닛이 한 편, 그리고 냉 스프레이를 처치한 연구가 한 편(Surenkok et al., 2008: 얼음팩과 냉 스프레이를 동시에 처치)으로 검색되었다.

측정변인을 살펴보면(한 편의 연구에서 여러 변인을 같이 측정한 경우 하나의 연구논문으로 간주), 고유수용감각이 열 편(Table 1), 유연성이 다섯 편(Table 2), 근력이 아홉 편(Table 3), 파워가 여섯 편(Table 4), 민첩성이 다섯 편(Table 5), 그리고 균형감각이 다섯 편(Table 6) 검색되었다.

고유수용감각(Proprioception)

검색된 열 편의 연구논문 중 냉요법이 정상적인 고유수용성 기능에 영향(변화)을 주지 않는다는 보고가 여섯 편이다(Table 1). 관절 별로 살펴보면, 발목관절은 두 편 모두 영향을 받지 않는다고 했으며 (LaRiviere & Osternig, 1994; Hopper et al., 1997), 무릎관절은 다섯 편 중 세 편이(Thieme et al., 1996; Uchio et al., 2003; Costello & Donnelly, 2012) 영향을 받지 않으며, 어깨관절은 두 편 중 한 편이(Dover & Powers, 2004) 고유수용감각과 냉요법은 관계가 없음을 보고했다.

발목에 적용한 5분간 혹은 20분간의 CWI(4°C)는 발목 배측/저측굴곡의 관절위치감각(joint position sense)을 변화시키지 않았고(LaRiviere & Osternig, 1994), 15분간 적용한 CWI(5°C) 역시 발목 외반/내반의 관절위치감각에 영향을 주지 않았다(Hopper et al., 1997). 15분간 적용된 두 개의 얼음주머니 역시 무릎관절 위치감각 기능에 영향을 주지 않았다(Thieme et al., 1996). 30분간 얼음주머니(1개)를 이용하여 어깨관절에 적용된 냉요법은 어깨관절위치감각을 변화시키지 않았다(Dover & Powers, 2004). 위 다섯 연구에서 발목과 무릎 관절

Table 1. Proprioception

author(year)	mode(participants, n)	measurement & activity	result
LaRiviere (1994)	5- or 20-min CWI(4°C) up to the 4 cm distal from the knee joint line (31 adults, M=31; F=10)	Ankle JPS with DF & PF	Not affected
Thieme (1996)	20-min two ice bags to the knee joint (37 adults, M=21; F=16)	Knee JPS (reproduction) at 90° to 60°, 60° to 30°, and 30° to full knee extension	Not affected
Hopper (1997)	15-min CWI(5°C) up to the 5 cm above the medial malleolus (49 adults, M=7; F=41)	Ankle JPS within 40% and 80% inversion	Not affected
Uchio (2003)	15-min cooling pad(4°C) to the knee joint (10 adults, M=10; F=10)	Knee JPS (5°-25° movement from 90°)	JPS ↓
Dover (2004)	30-min an ice bag to the shoulder joint (30 adults, M=15; F=15)	Shoulder JPS (replication test)	Not affected
Wassinger (2007)	20-min an ice bag to the shoulder joint (22 adults, M=14; F=8)	Active JP replication Path of motion replication	Path of motion replication ↓
Surenkok (2008)	30-min cold pack & an ice bag to the knee joint Cold spray to the knee joint (15 basketball players, gender: not specified)	Knee JPS (picking the mid point of 0°-90° of CPM)	Both treatments ↓ knee JPS
Oliveira (2010)	20-min ice bag to the knee joint and quadriceps (15 college students, M=6; F=9)	Knee JPS(40°-60° movement from 90°)	Both ↓ knee JPS (no difference between treatments)
Tremblay (2001)	20-min an ice pack(moist towel) to the quadriceps (20 college students M=14; F=6)	Weight discrimination task	Not affected
Costello (2012)	3-min WBC (-110°C cryogenic chamber) (36 college students, M=24; F=12)	Knee JPS (reproduction) ranged between 10°-30°, 30°-60°, and 60°-90° of flexion	Not affected

CWI: cold-water immersion; DF: dorsiflexion; F: female; JPS: joint position sense; JP: joint position; CPM: continuous passive motion; M: male; PF: plantarflexion; WBC: whole-body cryotherapy

위치감각은 대상자들의 눈을 가리고 냉요법 적용 전 시행했던 관절의 위치를 냉요법 적용 후 재형성할 수 있는지 관절 각도를 기록하여 평가하였다. 20분간 넙다리네갈래근에 적용된 얼음팩 역시 넙다리네갈래근의 고유수용감각 정확도(weight discrimination task)를 변화시키지 않았다(Tremblay et al., 2001). 넙다리네갈래근의 고유수용감각 정확도는 대상자들의 눈을 가리고 NK table에 앉아 무릎신전운동을 14회 반복하는 동안 매 회마다 2.5, 2.61, 2.78, 2.90, 그리고 3.0 kg 까지 다섯 가지의 다른 무게를 무거운 순서와 가벼운 순서로 섞어 그 정확도를 비교하였으며 냉요법 적용 전과 후 그 정확도는 차이가 없었다. 3분간 냉챔버(-110°C)를 이용하여 적용된 냉요법 역시 무릎관절의 위치감각을 변화시키지 않았다(Costello & Donnelly, 2012).

이와 반대로 냉요법에 의한 고유수용감각의 감소를 보고한 연구는 네 편이다. 15분간 무릎에 적용한 냉팩 드는 처치 직후 무릎관절의 위치감각 부정확도를 35%(부정확 각도: 4.8° → 6.5°) 증가시켰고, 처치 15분 후 대상자들의 부정확도는 처치 직후와 비교하여 12.3%(5.7°) 줄어들었다(Uchio et al., 2003). 20분간 얼음주머니(1개)를 이용하여 어깨관절에 적용된 냉요법은 능동적 관절위치 재형성(active joint position replication) 기능을 변화시키지 않았으며, 움직임 재형성(path of motion replication) 기능의 부정확도(displacement of reproduction for path of joint motion replication)는 0.05 cm에서 냉요법 적용 후 0.19 cm로 증가하였다(B 동작에서 A 동작으로 갈 때

만: 아래 설명 참고). 이 연구에서(Wassinger et al., 2007) 대상자들은 등속성 기계(Biodex)에서 두 가지 관절위치를 시행하였다. A 동작: 팔의 회전(humeral rotation)이 없는 팔꿈치관절의 완전신전(full elbow extension) 상태에서 20°의 어깨관절 굴곡. B 동작: 90°의 어깨관절 외전 외회전 상태에서 팔꿈치관절의 완전신전. 능동적 관절위치 재형성 평가에서 대상자들은 10초간 한 관절위치(예: A)를 시행하고 다른 관절위치(예: B)로 돌아가 다시 처음의 관절위치(예: A)로 돌아가게 했을 때 어깨관절의 부정확도를 cm로 기록하여 냉요법 전후로 비교하였다. 움직임 재형성 기능평가에서는 등속성 기계의 도움 없이 한 관절위치에서 다른 관절위치로 이동하는 동안 움직이는 경로(path)의 부정확도를 cm로 측정하였다. 얼음팩(cold pack)과 얼음주머니를 혼합한 냉요법(30분)과 냉 스프레이(대상자가 차가움을 느낄 때까지)는 모두 무릎관절 관절위치감각을 감소시켰다(Surenkok et al., 2008). 이 연구에서 대상자들은 무릎관절의 굴곡에서 신전으로 움직이는 동안 중간지점(45°)이라고 생각되는 각도에서 멈추었는데, 얼음팩과 얼음주머니를 혼합한 처치 후 1.2°(처치 전 0.66°) 그리고 냉스프레이 적용 후 1.8°(적용 전 0.75°)의 부정확도를 기록했다. 마지막으로, 20분간 무릎관절과 넙다리네갈래근에 각각 적용된 냉요법(얼음주머니 1개)은 무릎관절의 위치감각 부정확도(절대값)를 각각 2.2°(무릎관절: 4.7° → 6.9°; 넙다리네갈래근: 4.6° → 6.8°)증가시켰다(Oliveira et al., 2010).

Table 2. Flexibility

author(year)	mode(participants, n)	measurement & activity	result
Minton (1993)	20-min ice bags to each posterior thigh (18 college students, M=5; F=13)	Supine hamstring flexibility	Flexibility ↑ (heat pack also ↑ flexibility)
*Brodowicz (1996)	20-min ice bags to each posterior thigh (22 college baseball players, gender: not specified)	Supine hamstring flexibility	Flexibility ↑ (heat pack did not)
§Burke (2001)	10-min CWI(10°C) up to gluteal fold (45 college students, M=24; F=21)	Supine hamstring flexibility	Flexibility ↑ (stretching and hot pack treatment also ↑ flexibility)
Uchio (2003)	15-min cooling pad (4°C) (10 adults, M=10; F=10)	AP displacement and ATS of knee joint	AP displacement ↓ ATS ↑
Patterson (2008)	20-min CWI(10°C) to the fibular head (22 college students, M=7; F=13)	Ankle AROM	DF ↓ at 7- and 12-min post tx

AP: anterior to posterior; AROM: active range of motion; ATS: anterior terminal stiffness; CWI: cold-water immersion; DF: dorsiflexion; F: female; M: male; tx: treatment

*Cryotherapy was combined with stretching

§Cryotherapy was combined with modified stretching (applied for 5 consecutive days)

유연성(Flexibility)

검색된 유연성에 관한 총 다섯 편의 연구논문 중 네 편이 유연성 증가를 보고하였으며, 냉요법과 스트레칭의 복합효과를 관찰한 연구가 두 편 있다(Table 2). 얼음주머니로 양쪽 뒤넙다리근에 처치된 20분간의 냉요법과 정적 스트레칭이 복합 되었을 때, 무릎관절 신전 상태에서 엉덩이관절의 굴곡(straight leg raise test)을 평균 7.5° 증가시켰다(Brodowicz et al., 1996). 즉각적인 효과를 관찰한 이 연구에서 냉요법은 핫팩과 스트레칭을 병행한 그룹(3.8°)과 스트레칭만 하는 그룹(3.5°)에 비해 높은 유연성 증가를 보였다. 처치를 반복한 연구에서는, 5일 동안 매일 10분의 CWI(엉덩이 근육 밑까지; 10°C)처치와 복합한 modified proprioceptive neuromuscular facilitation(PNF: reversal of antagonist) 스트레칭은 오른쪽 엉덩이 관절의 굴곡(straight leg raise test)을 평균 23.5° 증가시켰다(Burke et al., 2001). 이 연구에서 냉요법 처치는 핫팩과 스트레칭 혹은 스트레칭만 한 그룹과 비교되었으며 그룹 간 차이는 없었다. 두 연구(Brodowicz et al., 1996; Burke et al., 2001) 모두 냉요법 처치 후 스트레칭을 실시하였다.

이에 반해, 20분간의 CWI(종아리까지; 10°C) 처치

는 즉각적으로 발목의 배측굴곡(dorsiflexion)을 감소시켰고, 저측굴곡(plantarflexion), 내번(inversion), 그리고 외번(eversion)은 변화가 없었다(Patterson, et al., 2008). 이 연구에서는 변화한 각도의 수치를 표시하지 않아 그 차이의 정도를 알 수 없다.

KT2000을 이용하여 무릎관절의 느슨함(laxity)을 측정한 연구에서, 4°C의 온도로 유지되는 15분간의 얼음팩 적용은 무릎관절의 전후 느슨함(anterior to posterior laxity)을 줄여 1.2mm 덜 움직이게 만들었으며 경골의 전방 끝 전위(anterior terminal stiffness)의 뺏뺏함이 mm당 20.9N 증가하였다고 보고하였다(Uchio et al., 2003).

근력(Strength)

아홉 편의 연구논문 중 네 편이 근력 감소를, 다섯 편이 근력의 증가를 보고했다(Table 3). 냉요법 처치 방법과 측정부위는 넙다리내갈래근에 처치된 얼음주머니(25분)에 의한 각속도 60°의 무릎신전(Ruiz et al., 1993), CWI(슬개골까지; 15°C)에 의한 각속도 60°(Hatzel & Kaminski는 120° 측정)의 등속성 발목 근력(Mattacola & Perrin, 1993; Hatzel & Kaminski,

Table 3. Strength

author(year)	mode(participants)	measurement & activity	result
Ruiz (1993)	25-min an ice bag on the quadriceps (19 male collegiate wrestlers)	Isokinetic quadriceps strength at 60°/sec	Concentric and eccentric strength ↓
Mattacola (1993)	20-min CWI (15°C) up to the mid patellar (16 adults, M=5; F=11)	Isokinetic PF power & total work at 60°/sec	Average power & total work ↓
Cornwall (1994)	20-min CWI (10°C) up to right forearm (18 adults, M=9; F=9)	Wrist extensor MVIC (peak force & PFDR)	Peak force and PFDR ↓
Catlaw (1996)	20-min Cold compression on the thigh to ASIS (Cryo-cuff)(16 college athletes, M=8; F=8)	Isokinetic quadriceps strength at various speed	Concentric strength was not affected; Eccentric ↑
Kimura (1997)	30-min CWI (10°C) up to the mid thigh (22 adults, M=11; F=11)	Isokinetic eccentric PF strength & work at 30 and 120°/sec; Endurance at 120°/sec	PF: Not affected Total work ↑ at 120°/sec
Burke (2000)	10-min CWI (8°C) up to the gluteal fold (45 adults, M=24; F=21)	Hip extensor MVIC	Hip extensor MVIC ↑
Hatzel (2000)	20-min CWI (10°C) up to the knee joint line with foot in circular motions (20 male college students)	Isokinetic ankle joint (PF, DF, Inv, Ever) at 60 and 120°/sec	DF strength (concentric) ↓ Others not affected
Hopkins (2002)	30-min an ice bag to the ATFL area (30 college students, M=16; F=14)	Isokinetic plantarflexion at 60°/sec	Plantarflexion strength ↑
Pietrosimone (2009)	20-min two ice bags over the knee joint (11 adults, M=6; F=5)	Quadriceps MVIC and CAR	MVIC ↑ at 0-min post tx CAR ↑ at 20- & 45-min post tx

ASIS: anterior superior iliac spine; ATFL: anterior talofibular ligament; CAR: central activation ratio; CW: cold-water; CWI: cold-water immersion; DF: dorsiflexion; Ever: eversion; F: female; Inv: inversion; M: male; MVIC: maximal voluntary isometric contraction; PF: plantarflexion; PFDR: peak force development rate; PT: peak torque; tx: treatment; WBC: whole-body cryotherapy

2000), 그리고 CWI(팔뚝까지 담금)에 의한 등척성 손목신전 이었다(Conwall, 1994).

넙다리네갈래근에 적용된 냉요법(얼음주머니 1개)은 처치 직 후, 무릎신전의 동심성(concentric)과 편심성(eccentric) 근력을 각각 23.3 N·m 그리고 17.7 N·m 저하시켰다. 이 연구에서 흥미로운 점은, 동심성 근력은 처치 20분 후 처치 전의 상태로 돌아온 반면, 편심성 근력은 처치 후 40분까지 5.6 N·m의 근력감소를 보였다는 점이다(Ruiz et al., 1993). 발목관절의 근력을 평가한 연구에서는, 배측굴곡(Hatzel & Kaminski, 2000)과 저측굴곡(Mattacola & Perrin, 1993)이 감소하였으며 내번과 외번은 차이가 없었다고 보고했다(Hatzel & Kaminski, 2000). 배측굴곡은 무릎관절까지 적용한 CWI(10°C) 후 60°/sec에서 7.1 N·m 그리고 120°/sec에서 5 N·m 감소하였으며 저측굴곡은 그래프로 결과를 보고하여 정확한 차이 값을 알 수 없다. 손목신전의 근력을 평가한 연구에서는 CWI(팔뚝까지; 10°C)가 등척성 근력과 힘의 증가율 모두 감소시켰다(Cornwall, 1994). 이 연구에서 값을 그래프로 표시하여 정확한 수치는 알 수 없다.

냉요법이 근력을 증가시켰다고 보고한 연구는 모두 다섯 편이다. Cold compression 장비(Cryo-cuff: 허벅지에 적용)에 의한 등속성 넙다리네갈래근의 편심성 근력은 대조군과 비교하여 20% 높았으며, 빠른 근수축 속도에서 느린 근수축 속도보다 (200°/sec vs. 50 & 70°/sec; 125°/sec vs. 25°/sec) 상대적으로 높은 값을 나타냈다고 보고했다(Catlaw et al., 1996). 엉덩관절 굴곡(gluteal fold)까지의 CWI(8°C) 적용은 대조군과 비교하여 85.5 N·m 높은 등척성 엉덩관절 신전근력을 증가시켰다(Burke et al., 2000).

얼음주머니를 이용하여 하체관절에 적용된 냉요법 역시 처치관절 근처의 신전근력을 증가시켰다. 바깥쪽 발목관절(전방거비인대: anterior talofibular ligament 부분)에 적용된 얼음주머니(1개)는 등속성 저측굴곡 근력을 5.8 N·m 증가시켰고, 증가한 근력은 처치 후 한 시간까지 유지되었다(Hopkins & Stencil, 2002). 두 개의 얼음주머니를 무릎관절 앞뒤로 적용한 연구에서는 처치 직후의 등척성 무릎신전 근력을 25.6 N·m 증가시켰고, 근력활성도(central activation ratio)는 0.6% 증가하였으며 증가된 활성도는 처치 후 45분까지 유지되었다고 보고하였다(Pietrosimone & Ingersoll, 2009). 저측굴곡의 등속성 편심성 지구력(120°/sec)을 평가한 연구에서는, CWI(허벅지 중간까지; 10°C) 적용 후 대조군과 비교하여 377.8 J 높은 값(total work)을 보고하였다(Kimura et al., 1997).

파워(Power)

앞서 이야기한 고유수용감각, 유연성, 그리고 근력과 달리, 냉요법 적용 후 파워를 평가한 여섯 편의 연구에서 모두 기능감소를 보고했다(Table 4). 배근들(abdomenal)까지(Ferretti et al., 1992), 그리고 엉덩관절 굴곡(gluteal fold)까지의(Dixon et al., 2010) CWI(20°C & 12°C) 적용은 처치 전과 비교하여 두 발 최대수직점프 시 최대 지면반력을 각각 27%, 그리고 21% 낮추었다. 엉덩관절 굴곡까지 처치했던 연구에서는, 처치 후 측정이 끝나고 15분 후 지면반력을 다시 측정 하였는데, 처치 전과 비교하여 18% 감소된 값을 기록했다. 이 연구에서 흥미로운 점은, 처치 후 측정이 끝나고 15분 동안 능동적 준비운동을 한 그룹은

Table 4. Power

author(year)	mode(participants)	measurement & activity	result
Ferretti (1992)	90-min CWI (20°C) up to the abdomen (6 sedentary male adults)	Power output during Two-legged CMJ	Power immediately ↓
Kinzey (2000)	20-min CWI (10°C) up to the inferior pole of patellar (15 active adults, M=7; F=8)	Vertical GRF during a A single-leg vertical jump	Vertical impulse ↓ Peak vertical GRF ↓
Richendollar (2006)	An ice bag to the anterior thigh (24 active male adults)	A single-leg vertical jump 36.58 m dash	Jump height ↓ Dash time ↑
Patterson (2008)	20-min CWI (10°C) up to the fibular head (22 college students, M=7; F=13)	36.58 m dash	Time ↑ at 2-, 7-, 12-, and 22-min post tx
Fischer (2009)	10-min an ice bag to each hamstrings (42 recreational or college athletes, M=17; F=25)	A single-leg vertical jump	Jump height ↓ at 0- and 20-min post tx
Dixon (2010)	45-min CWI (12°C) to the gluteal fold (19 male college athletes)	Power output during Two-legged CMJ	Power immediately ↓

CWI: cold-water immersion; GRF: ground reaction force; CMJ: countermovement jump; F: female; M: male; tx: treatment; 36.58 m: 40 yard

처치 전과 비교하여 7%의 지면반력 감소를 보고하여, 능동적 준비운동의 효과와 필요성을 제시하였다(Dixon et al., 2010). 한 발 수직점프를 평가한 연구에서는, 슬개골 밑까지 적용된 CWI(10°C)는 그 직후 점프 시(take-off) 수직충격(vertical impulse)을 6% 감소시켰으며 최대지면반력에는 차이가 없었다고 보고했다(Kinzey et al., 2000). 수직 충격은 힘과 시간을 x-y 축으로 나타낸 그래프에서 힘의 변화 값 아래 면적을 계산한 것으로 운동량(momentum)의 변화와 같아(Enoka, 2008), 한 발 수직점프 시 체중에 전달되는(중력 반대방향으로 뛰어 오르려는) 운동량이 감소하였다는 것으로 해석할 수 있다. 양쪽 뒤넙다리근에 적용된 냉요법 처치(얼음주머니 1개 씩)는 그 직후와 20 분 후 측정된 한 발 최대수직점프높이를 감소시켰다(Fischer et al., 2009). 이 연구에서 주목할 점은, 하체 파워를 감소시킬 수 있는 냉요법 처치시간은 10분이면 충분하다는 점이다. 얼음주머니(1개)를 사용하여 넙다리네갈래근에 냉요법을 적용 후 (대조군과 비교하여) 한 발 최대수직점프가 1.6 cm 감소하였고, 40 yard(36.58 m) 전력달리기 시간이 0.18초 증가하였다고 보고하였다(Richendollar et al., 2006). 이 연구에서, 냉요법 후 준비운동을 한 그룹은 위 제시된 기록들에 비해 한 발 최대수직점프를 1.6 cm 더 뛰었고 40 yard(36.58 m) 전력달리기에서는 0.15초 빨리 뛰어 냉요법 후 준비운동의 효과를 보고하였다.

민첩성(Agility)

다섯 편의 연구 중 네 편이 냉요법에 의한 기능감소

를 보고하였으며. 정해진 두 지점을 빨리 이동하는 시간을 측정한 shuttle run, T자 달리기 시간, 그리고 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근의 동시수축을 유도하는 동작 시 옆으로 이동시간의 차이를 기록한 co-contraction 시간이 측정되었다(Table 5).

Shuttle run 측정 시 두 지점 사이의 거리는 6.1 m(Evans et al., 1995; Cross et al., 1996; Fischer et al., 2009)와 9.14 m(Richendollar et al., 2006) 였으며, 대상자들은 두 지점 사이를 1회 왕복(Richendollar et al., 2006) 혹은 2회 왕복(Evans et al., 1995; Cross et al., 1996; Fischer et al., 2009) 하였다. 13°C CWI(무릎관절 밑까지: Cross et al., 1996)와 얼음주머니(1개 한쪽 넙다리네갈래근에 적용: Richendollar et al., 2006; 1개씩 양쪽 뒤넙다리근에 적용: Fischer et al., 2009) 적용 후 shuttle run 시간은 각각 2.6%(0.17초), 1.3%(0.12초), 그리고 약 3.3%(약 0.2초 값이 그래프에 표시) 느려졌다. 무릎관절 밑까지 적용된 CWI(10°C) 후 측정된 T자 달리기(총 거리: 36.58 m) 시간 역시 12.1%(1.38초) 느려졌다(Patterson et al., 2008). Co-contraction test는 대상자 허리에 착용된 고무 밴드(두께: 2.5 cm; 길이: 1.23 m)를 1.52 m 높이 벽에 고정시키고 고무 밴드의 두 배 길이 만큼 늘려(2.44 m) 표시된 반원을 그어, 고무 밴드의 탄력을 무릎관절을 굽혀 건디게 하여 shuffle step(옆 뛰기)으로 반원 밖을 다섯 번(왼쪽으로 세 번 오른쪽으로 두 번) 뛰는 시간을 측정하였다. 고무 밴드의 탄성을 유지하면서 옆으로 뛰어야 하고, 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근이 동시에 수축해야 하므로 “co-contraction test”라고 이름 지어 졌다. 얼음주머니를 사용하여 양쪽 뒤넙다

Table 5. Agility

author(year)	mode(participants)	measurement & activity	result
Evans (1995)	20-min CWI(1°C) up to 8 cm above lateral malleolus (24 male college students)	Carioca test Shuttle run Co-contraction time	Not affected
Cross (1996)	20-min CWI(13°C) up to the fibular head (20 male college athletes)	Shuttle run	Time ↑
Richendollar (2006)	An ice bag to the anterior thigh (24 active male adults)	Shuttle run	Time ↑
Patterson (2008)	20-min CWI(10°C) up to the fibular head (22 college students, M=7; F=13)	T-test	Time ↑ at 7- and 12-min post tx
Fischer (2009)	10-min an ice bag to each hamstrings (42 recreational or college athletes, M=17; F=25)	Co-contraction time Shuttle run	Co-contraction time ↓ at 20-min post tx Shuttle run time ↑ at 0- and 20-min post tx

CWI: cold-water immersion; tx: treatment

리근에 냉요법 적용 20분 후(냉요법 적용 직후에는 변화가 없었음) 대상자들의 co-contraction test 시간은 2.3%(0.27초) 느려졌다(Fischer et al., 2009).

한편, 바깥쪽 복숭아 뼈 8 cm 위까지 CWI(1°C)를 적용한 연구에서는 carioca test, shuttle run, 그리고 co-contraction 시간의 변화를 관찰하지 못하였다고 보고했다(Evans et al., 1995). 이 연구의 저자들은, 실험에 참여한 대상자들이 냉요법이나 위 세 가지 측정에 익숙하지 않은 점을 지적하면서 통계적 파워(statistical power)가 낮은 점을 제한점으로 제시하였고(1-β: 0.5 - 0.6), 냉요법 후 달라진 움직임(Thieme et al., 1996)과 피부에 느껴지는 감각(Grant, 1964; Hayden, 1964)을 보고한 연구들을 인용하며 민첩성은 냉요법에 의해 영향을 받을 수도 있다고 설명하였다. 이와 더불어, 발목까지 처치한 이 연구(Evans et al., 1995)는 민첩성 능력을 변화시키지 않았지만, 넙다리네갈래근 혹은 뒤넙다리근 같은 큰 근육에 냉요법을 적용한 위 연구들(Cross et al., 1996; Richendollar et al., 2006; Patterson et al., 2008; Fischer et al., 2009)의 결과와 비교해 보면 냉요법으로 온도가 내려가는 신체부위의 크기와 민첩성 능력은 관련이 있는 것 같다.

균형감각(Balance)

검색된 연구논문은 모두 다섯 편으로 한 발로 서서 균형감각을 평가한 연구가 네 편, 점프(최대 수직점프의 50%) 후 착지 동작에서 균형감각을 측정한 연구가 한 편으로, 냉요법에 의한 기능변화의 결과는 냉요법

후 영향을 받지 않거나 감소하는 것으로 조사되어 그 결과가 일정하지 않다(Table 6).

냉요법에 의한 균형감각 기능감소를 보고한 연구는 두 편이다. 양 팔은 X자로 접어 가슴 앞에 위치시키고 측정기계(KAT 3000) 발판 위에 공을 차는 우세한 다리로 서서 중간 30초간 균형감각(발판 중간지점으로부터 벗어난 거리: the distance from the central point)을 측정한 연구에서 무릎관절에 적용한 냉요법(얼음팩과 주머니를 혼합)은 균형감각을 63.6% 감소시켰다(Surenkok et al., 2008). 이 연구에서 냉 스프레이는 균형감각을 변화시키지 않았다. -130°C 냉 챔버를 통해 온몸에 적용시킨 냉요법은 두 발 균형감각(팔의 위치는 보고되지 않음)을 감소시켰다(Gienza et al., 2013). 균형감각 기능은 지면반력기에 기록되는 압력 중심(center of pressure)을 세 가지 변인(variability, frequency, and sample entropy)을 시상면(sagittal plane)과 관상면(coronal plane)에서 분석하였으며 대상자들은 냉요법 직후 균형감각이 감소하였고, 떨어진 기능은 10분 동안 유지되었다.

이에 반해, 복숭아 뼈까지 적용시킨 냉요법은 균형감각을 변화시키지 않았다(Ingersoll et al., 1992). 두 눈을 뜨고 한 발(우세 비우세 명시하지 않음)로 서서 반대 발등을 지지하는 무릎 뒤에, 양 손은 허리에 위치시키고 이 동작을 유지할 수 있는 시간을 측정하였다(Ingersoll et al., 1992.). 무릎관절 밑까지 처치된 CWI 역시 점프 후 착지 동작에서 균형감각을 변화시키지 않았다(Miniello et al., 2005). 대상자들은 앞으로

Table 6. Balance

author(year)	mode(participants)	measurement & activity	result
#Ingersoll (1992)	20-min CWI(1°C) up to the malleolus (21 college students, gender: not specified)	A single leg static balance	Not affected
Miniello (2005)	20-min CWI(12.8 - 15.6°C) up to the tibial tuberosity (17 female adults)	TTS after a single leg landing (V, AP, and ML)	Not affected
#@Surenkok (2008)	30-min cold gel pack & ice bag to the knee joint Cold spray to the knee joint (15 basketball players, gender: not specified)	A single leg static balance	Cold pack: ↓ Cold spray: not affected
#@Douglas (2013)	15-min CWI(4.4°C) to the 5 cm above medial malleolus (20 adults, gender: not specified)	A single leg static and dynamic balance (AP and ML)	Static: not affected Dynamic(ML): ↓
Gienza (2013)	30-second WBC(-60°C) followed by 3-min WBC(-130°C); (24 adults, M=9; F=15)	Two legged static balance (AP & ML)	Balance ↓ at 0-, 6-, and 11-min post tx

COP: centre of pressure; CWI: cold-water immersion; F: female; M: male; TTS: time-to-stabilisation; V: vertical; AP: anterior/posterior; ML: medial/lateral; tx: treatment; WBC: whole body cryotherapy

#tested with barefoot

@ tested the dominant foot (Ingersoll et al., 1992: not specified; Miniello et al., 2005: non-dominant foot)

두 발 점프(최대수직점프의 50% 높이) 하여 양 손을 허리에 위치시키면서 지면반력기에 한 발(비우세 다리)로 착지 후 수직지면반력(vertical ground reaction force)이 체중의 5% 되는 시간을 기록하였다.

마지막으로, 발목까지 적용된 CWI(4.4°C) 냉요법 연구는, 정적기능(static balance)은 변화가 없었고 동적기능(dynamic balance)은 관상면에서 감소(effect size: 0.78)를 보였다고(Douglas et al., 2013). 대상자들은 양 손을 허리에 위치시키고 한 발(우세한 다리)로 측정기계(Biodex Balance System)에 서서 측정판을 고정시킬 때(정적)와 움직일 때(동적)로 나누어 각각 10초간 실시하였고, 각 변위(angular displacement)를 기록하여 균형감각을 평가하였다.

논의

고유수용감각

고유수용감각은 “신체 외부로부터 들어오는 자극을 느낄 수 있는 능력”을 말한다(Riemann & Lephart, 2002). 관절이 움직이는 동안 얼마나 안정성을 유지하여 부상을 당하지 않느냐 하는 것은 피부 표면(superficial skin), 관절 낭(joint capsule), 인대, 추내근섬유(intrafusal muscle fiber), 근건접합부(musculotendinous junction) 등에 위치하는 다양한 수용기가 보내는 신호(afferent sensory input)를 중추신경(brain & spinal cord)이 얼마나 빠르고 정확하게 받아들여 근수축으로 반응하느냐에 달려있다(Latash, 2007). 그러므로 신체활동 혹은 휴식 중 빈번하게 일어나는 냉요법이 고유수용감각에 영향을 주어 움직임(혹은 패턴)이 바뀐다면 운동기능은 떨어질 수 있으며 부상위험은 높아질 수 있다.

고유수용감각을 변화시킨 기전으로, 많은 연구논문들이 피부와 근육 내 온도변화에 따른 신경전달속도의 감소(Hopper et al., 1997; Uchio et al., 2003; Wassinger et al., 2007; Surenkok et al., 2008; Oliveira et al., 2010)와 근육 내 수용기의 감소(Matthews, 1988; Thieme et al., 1996; Wassinger et al., 2007; Oliveira et al., 2010)를 원인으로 설명하였다. 위 언급한 구심성 신호와 같은 피부수용기 활동의

변화(Costello & Donnelly, 2012)와 인대수용기 혹은 관절낭 수용기 활동의 감소(Uchio et al., 2003) 또한 고유수용감각을 변화시키는 것으로 설명하고 있다. 또한 냉요법으로 인한 관절낭이나 관절 내 윤활액의 점성(viscosity) 증가도 고유수용감각 감소의 원인일 수 있다고 하였다(Evans et al., 1995).

이와 더불어, 근방추 내 위치하는 일차종말(primary endings)과 이차종말(secondary endings)이 냉요법에 의한 반응이 다르다는 의견도 있다(Tremblay et al., 2001). 냉요법에 의해 고양이 일차종말의 활동이 불규칙적으로 감소(일부는 증가)한 반면 이차종말의 활동은 균일하게 증가하였다(Mense, 1978). 근방추 일차종말이 길이와 속도, 이차종말은 길이에만 반응한다(Latash, 2007). 그러므로 일차종말의 활동 증감이 많지 않다는 것은(관절위치감각은 일차종말로부터의 정보에 의지) 냉요법 적용 후 고유수용감각이 영향을 받지 않는다는 것을 어느 정도 설명해준다.

냉요법과 고유수용성과의 관계를 살펴본 대부분의 연구들이 가지는 큰 한계점은 측정방법이 실제 운동 상황에서의 기능적 동작이 아니라 앉아서 혹은 누워서 열린 사슬 운동(open kinetic chain movement)으로 측정되었다는 점이다. 가장 일반적인 측정방법인 joint position sense(JPS)는 (JPS는 많은 논문과 저서에서 proprioception과 혼용되어 쓰이기도 한다) 허공에서(open kinetic) 자신의 관절위치가 어디인지를 파악하는 능력이다(Grob et al., 2002). 대상으로 하여금 특정 관절의 위치를 기억하게 하고 그 관절의 위치로 다시 돌아가게끔 하여 각도를 측정하는 방법인데, 고유수용성 기능(관절위치감각기능)의 저하로 하체관절 불안정성 때문에 부상이 오려면 아마도 체중이 실린 상태(weight bearing position)여야 할 것이다. 이런 관점에서 본다면 실제로 현장에서 냉요법 후 운동기능이 떨어졌거나 부상이 있다 하더라도 (관절안정성의 변화로), 고유수용성 기능으로부터 비롯되었다고 보기 힘들지도 모른다.

유연성

많은 운동사들은 유연성을 range of motion(ROM) 혹은 flexibility로 혼용하여 인식한다. 그러나 ROM은 “한 관절이 일반적으로 움직일 수 있는 범위”로 정의

되고(Hoglum, 2010), flexibility란 “근육의 길이 혹은 그 가동범위”를 말한다(Hoglum, 2010). 예를 들어, 무릎관절의 ROM은 120-125° 정도인데, 부상이나 질병에 의해 flexibility는 100°가 될 수 있다. 이와 같이 흔히 유연성이라고 부르는 range of motion(ROM)과 flexibility는 그 뜻에서 다소 차이가 있으나, 검색된 연구들이 두 단어를 혼용하여 썼으므로 본 총설에서도 “유연성”을 ROM 혹은 flexibility라고 정의하였다.

유연성과 부상위험의 상관관계는 관련연구가 많지 않고 그 결과의 방향도 일정하지 않다. 하체의 유연성이 좋을수록 하체의 과 사용 부상(overuse injury)을 줄일 수 있다(Hartig & Henderson, 1999)는 보고가 있고, 너무 유연하거나 너무 뻣뻣할 경우 부상위험이 높다는 보고(Jones, et al., 1993)도 있다. 하지만 냉요법이 주요조직의 유연성에 영향을 미친다면 운동기능이 변화하는 것은 당연하고, 본 총설 뒤에 언급할 힘, 파워, 민첩성 등 대부분의 항목에 직접적 영향을 미치는 때문에 이 변화를 살펴보는 것은 중요하다.

많은 연구자들은 근육에 처치된 냉요법에 의한 해당 근육 내 stretch reflex의 감소로 인한 해당 근육의 이완(“autogenic inhibition”)이 유연성 증가의 원인일 수 있다고 설명한다(Cornelius et al., 1992; Brodowicz et al., 1996; Burke et al., 2001). 특히 근육이 스트레칭된 상태에서 해당 근육에 냉요법을 적용시킨다면, 이 효과를 더 볼 수 있을 것이다(Burke et al., 2001). 스트레칭만 처치하거나 핫팩과 복합한 그룹과 비교하여, 냉요법만 처치한 그룹이 유연성 증가에 효과적이거나 차이가 없는 점으로 보아 냉요법이 골지건기관(golgi tendon organ: GTO)의 활동을 증가시키는 효과는 스트레칭과 유사한 것 같다.

냉요법 적용에 의한 혈관확장(CIVD)이 혈류량을 증가시켜 근육의 유연성을 증가시키는 원일일 수 있다고 보고한 연구논문이 있으나(Minton, 1993), CIVD는 일어나지 않거나 영향을 주지 않을 정도로 약해(Knight & Londeree, 1980), 이 설명은 타당성이 떨어진다.

이와 반대로 발목의 배측굴곡이 감소한 원인으로는 냉요법 처치방법, 처치부위, 그리고 측정부위로 설명될 수 있다. 종아리까지 CWI 처치 후 발목의 유연성을 평가한 연구에서(Patterson et al., 2008), 배측굴곡을 제외한 나머지 방향으로의 유연성이 변하지 않은

것으로 보아 아킬레스건의 뻣뻣함이 그 원인일 수 있다. 아킬레스건은 신체에서 가장 두꺼운 힘줄로서 많은 양의 콜라겐(collagen)으로 구성되어 있다. 콜라겐은 냉요법에 의해 뻣뻣해지며(Gulick et al., 1996), 이는 콜라겐 성분이 많은 아킬레스건에 의해 가동범위를 제한받는 배측굴곡의 감소를 가져왔다고 생각한다.

전십자인대(anterior cruciate ligament: ACL) 손상 후 무릎관절의 전후 느슨함은 부상이 없는 건강한 무릎관절에 비교하여 2.2 mm(Brandsson et al., 2001)에서 8.1 mm(Karpholm et al., 1988) 늘어난다. 위 두 연구들이 해부용 시신(cadaver)을 이용한 측정임을 감안하여 ACL이 경골의 전방전위를 책임지는 범위는 2.2 - 8.1 mm라고 간접적으로 추정한다면, 냉요법으로 인한 무릎관절의 느슨함이 ACL 부상을 증가시킨다고 보기는 어렵다. 하지만 냉요법의 적용이 그 즉시 관절의 느슨함을 유발한다는 것은 흥미로운 관찰이며, 냉요법 적용 15분 후 정상 범위로 돌아왔다는 점을 감안하여 충분한 준비운동 후 (15분 이상) 연습이나 시험에 임하기를 권한다.

근력

근력은 “하나의 근육 혹은 근육들이 정해진 시간 안에 낼 수 있는 최대 힘”으로 정의된다(Baechle & Earle, 2008). 실제 운동동작에서 근력을 평가하기 위해서는 체중이 실린 상태(closed kinetic chain)에서 여러 관절이 같이 움직이는 (multi-joint movements) 기능적 움직임으로 평가해야 할 것이다. 하지만, 일반적으로 연구 환경에서는 한 관절의 움직임으로 등속성 혹은 등척성 동작으로 측정된다.

근력감소의 원인으로, 낮아진 온도로 인한 근조직 내의 수축성 성분(contractile component)의 기계적 변화가 있다(Cornwall, 1994). 수축성 성분에는 직렬 탄성 성분(series elastic component; 예: cross-bridges, aponeurosis, tendon)과 수평 탄성 성분(parallel elastic component; 예: myofilaments, fascia)이 있다(Silverthorn, 2007). 온도 변화에 따른 contractile 혹은 elastic 구조의 반응은 아직 명확하지 않으나, elastic 구조의 뻣뻣함(stiffness)은 온도와 반비례한다고 알려져 있어(Templeton et al., 1974) 근력감소의 원인으로 유추해 볼 수 있다. 또한 신경생리학적 기전으로는 냉요법에 의한 근육 내 stretch reflex 감

소와 관련한 활동전위진폭(action potential amplitude)과 근활성 빈도(firing frequency)의 감소(McComber & Herman, 1971), 그리고 ATP(adenosine triphosphate) 분해의 감소(Cross et al., 1996)를 들 수 있다.

냉요법에 의한 근력증가의 원인으로 설명되어 지는 것으로, 운동뉴런동원 역치점(α -motor neuron recruitment) 감소로 인한 운동유닛(motor unit)의 숫자(Hopkins & Stencil, 2002)와 운동뉴런 풀 흥분성(motoneuron pool excitability)의 증가(Pietrosimone & Ingersoll, 2009), 그리고 근활성 빈도 증가(Pietrosimone & Ingersoll, 2009)가 있다. 또한 온도변화로 인해 증가한 구심성 신호(afferent sensory input)는 중추신경(spinal or supraspinal level)에 도달하여 운동뉴런 억제성 신호(inhibitory synaptic signal)의 전달을 방해하여(masking) 근력의 감소를 줄여, 결국 근력의 증가로 이어질 수 있다고 추측하였다(Pietrosimone & Ingersoll, 2009). 편심성 근력의 증가에 대해(Catlaw et al., 1996), 근육에 적용된 냉요법은 근방추활동을 감소시키고, 이는 편심성 수축 시 근신경 내 장력을 줄인 결과라고 생각된다(De Jesus et al., 1973). 근 지구력의 향상은(Kimura et al., 1997), 내려간 지근섬유(slow-twitch fiber)의 온도가 신진대사의 부산물(metabolic byproducts)을 줄여 피로를 늦추거나 감소시킨 결과라고 설명되었다(Clarke & Wojciechowicz, 1978).

근력을 평가한 연구들에서 실험결과와 차이는 등척성과 등속성 측정방법의 차이에 의한 것일 수 있다. 근력측정 시 흔히 사용되는 Cybex나 Biodex 같은 dynamometer는 실험대상자의 다리길이(예: 발바닥부터 무릎관절까지의 길이)의 차이에 따라 그 값이 달라질 수 있다(Haymes & Ryder, 1983). 보통 체중이나 다리 길이로 그 값이 표준화(normalisation) 되며 연구 방법에서 cross-over 디자인(within-subject design)의 경우 그 차이가 통계적으로 희석되기는 하지만, 결과의 해석과 적용 시 고려되어야 할 사항이다.

파워

파워는 “정해진 시간(보통 짧은 시간) 안에 얼마의 힘을 방출할 수 있느냐”하는 것으로(Baechle & Earle, 2008) 실제 운동능력에 직접적인 영향을 미치는 요소이다. 근력이 충분하다 하더라도, 그 힘을 집중시킬

수 있는 협응력(coordination)을 갖추고 있지 않다면 그 힘은 실제 운동능력에서 발휘되기 힘들 것이다.

근력과 시간이 파워를 결정짓는 요소이므로, 냉요법에 의한 근력의 감소는 직접적으로 파워를 감소시킨다. 앞선 냉요법에 의한 근력감소 기전들 외 추가적으로, 낮은 온도에서 효소작용(enzyme process)이 느려지고, 운동신경 전달속도(motor-nerve conduction velocity)의 감소가 근기능의 약화로 제시되었다(Richendollar et al., 2006). 더불어, 냉요법으로 인한 고유수용성이나 관절유연성의 변화는, 관절의 위치와 근육의 활성화(강도, 방향, 그리고 타이밍)를 부정적으로 변화시켜 결국 파워감소로 이어질 수 있다(Ferretti et al, 1991). 위 언급한 이유들은 최대 수직높이뛰기 시, 수직추진력(vertical impulse)을 감소시켜 수직으로 솟아오르는 가속력(accelerating force)을 떨어뜨린다(Kinze et al., 2000). 수직추진력은 힘과 시간(force-time)의 그래프 넓이를 의미하며 이 면적이 줄어든다는 것은, 체중을 중력에 반하는 방향으로 움직이는 힘이 적다는 것이고 (Fischer et al., 2009) 이는 곧 파워의 감소를 의미한다(Dixon et al, 2010). 파워능력 측정(최대수직점프와 전력달리기) 시 능동적 준비운동이 처치 직후 떨어진 기능을 향상시킬 수 있다는 점에서(Richendollar et al., 2006; Dixon et al., 2010), 시합이나 연습 전 준비운동은 반드시 필요하다.

앞서 살펴본 근력, 고유수용감각, 그리고 근육과 관절의 유연성은 각각 혹은 복합적으로 파워에 영향을 미치며 냉요법에 다르게 반응한다. 예를 들어 무릎관절 냉요법 후 넙다리네갈래근 근력이 증가하고(Pietrosimone & Ingersoll, 2009) 고유수용성 기능은 변화가 없는데(Thieme et al., 1996) 최대수직점프와 같은 순발력이 감소한다면, 근육이나 관절의 유연성에 그 원인이 있다고 볼 수 있다. 따라서 추후 연구에서 파워감소에 영향을 미치는 위 변인들을 순발력과 같이 평가하여 기능감소에 있어 큰 영향을 주는 요소는 무엇인지 관찰할 필요가 있다.

민첩성

민첩성은 파워와 마찬가지로 운동수행능력에 결정적인 영향을 미치는 요소로서 “움직이는 속도와 방향을 빨리 바꾸기 위해 필요한 기술과 능력”으로 정의

된다(Baechle & Earle, 2008). 거의 대부분의 운동선수들이 속력을 줄이지 않고 방향을 바꿀 수 있는 능력을 키우기 위해 많은 훈련을 실시하고 있다. 반면에, 운동학습(트레이닝)에 의해 민첩성에 최적화된 근신경계 활동이 냉요법에 의해 부정적 영향을 받고, 운동 중 충돌 없이 발생하는 하체 관절부상은 민첩성 동작에서 빈번하게 일어난다. 그러므로 민첩성이 경기력에 중요한 요인으로 작용하는 종목의 경우(예: 축구, 농구, 핸드볼) 냉요법 처치로 인한 기능감소에 대한 인식을 하고, 처치가 불가피한 경우 충분한 시간을 확보하고 능동적 준비운동으로 기능감소를 예방하여야 한다.

앞서 이야기한 파워와 마찬가지로, 각각 혹은 복합된 고유수용성, 유연성, 그리고 근력의 변화가 민첩성 감소의 원인으로 생각된다. 추가로, 냉요법 적용 후 관절 내 윤활액(synovial fluid)의 점성(viscosity)이 높아지고(Evans et al., 1995), 관절을 지나는 인대, 관절낭, 그리고 힘줄이 느슨함이 줄어들면서(뻣뻣해 지면서) 관절이 움직이는 속도(Hunter et al., 1952)와 가속력(Kinzey et al., 2000)이 줄어들어, 민첩성 기능에 영향을 준 것으로 보고 있다.

한 연구에서, 감소한 shuttle run 시간은 냉요법 적용 20분 후 반복된 측정에서도 냉요법 적용 전의 상태로 돌아오지 않았다(Fischer et al., 2009). 대다수의 연구에서 냉요법 적용에 의한 고유수용감각, 근력, 그리고 파워의 감소가 대부분 10분 이내에 회복된 것과 비교해 보면 냉요법에 의한 민첩성 능력의 감소는 그 시간이 좀 더 길어질 수 있어 특정 종목과 동작에 적용 시 주의해야 할 점이다.

균형감각

균형감각은 “중력에 반하는 몸의 중심(body's centre of gravity)을 적절히 조절하고 움직여 체중을 받치고 있는 말단부위 위 신체의 평형성을 유지하는 능력”(Houghlum, 2010) 이라고 정의되며 때때로 “자세 흔들림(postural sway)”이라고 불리기도 한다(Bressel et al., 2007). 운동 상황에서 일어나는 많은 움직임에서 동적 혹은 정적 균형을 유지해야 함을 생각해 볼 때 앞서 살펴본 요소들과 더불어 기능수행에 직접적인 영향을 미치는 요소라고 할 수 있다.

균형감각은 말초신경(신체말단부위로서 보통 발바닥)으로부터 전해지는 구심성 신호(afferent sensory input)를 중추신경에서 해석하고, 평형성을 위해 조절이 필요한 근육에 원심성 신호(efferent signal)를 전달하는 것으로 이루어진다(Riemann & Lephart, 2002). 이를 흔히 “피드백 제어(feedback control)”라고 한다. 반면에 “피드포워드 제어(feedforward control)”는 중추신경이 구심성 정보를 받기 전에(Johansson & Magnusson, 1991) 혹은 정보 없이(Latash, 2007) 원심성 신호를 보내는 것을 말한다. 예를 들어, 우리 중추신경은 발이 공에 닿기 전에 이미 동작을 예상하고 필요한 근육을 수축한다. 많은 운동동작(특히 균형감각 기능수행 시)에서 이 두 제어 장치는 혼합되어 작용하지만, 트레이닝을 통한 피드포워드 제어가 ACL 부상을 줄이는 것으로 알려져 있어(Bryant et al., 2009) 반복된 균형감각 훈련은 부상위험을 줄일 수 있다. 냉요법 적용으로 인한 균형감각의 감소가 뚜렷하지 않고, 그 기능감소가 제어장치의 변화로부터 비롯되었다는 과학적 증거 또한 약하지만, 균형감각 기능이 요구되는 종목에서는(예: 체조) 냉요법 처치가 기능뿐만 아니라 부상과도 관계가 있을 수 있음을 생각해야 한다.

고유수용감각처럼 균형감각은 냉요법에 의해 감소하거나 영향을 받지 않아 그 결과의 방향이 상이하다. 처치시간과 처치부위의 크기를 살펴보면, 20분간 CWI(Ingersoll et al., 1992; Miniello et al., 2005) 1°C와 평균 14.1°C CWI 처치 후 변화가 없는 반면 15분 동안의 4.4°C CWI(Douglas et al., 2013)에서 균형감각은 감소하였다. 처치부위 역시 발목에 적용된 두 연구(Ingersoll et al., 1992; Douglas et al., 2013)의 결과가 달라 상이한 이유를 설명하기는 힘들다. 우세한 다리와 그렇지 않은 다리를 비교해보면, 두 편(Surenkok et al., 2008; Douglas et al., 2013)이 우세한 다리, 한 편(Miniello et al., 2005)이 비우세 다리를 측정하였으며, 한 편(Ingersoll et al., 1992)은 정보를 명시하지 않아 알 수 없다. 농구선수, 체조선수, 그리고 축구선수의 우세한 다리(공치는 쪽)와 그렇지 않은 다리 사이 균형감각(Balance Error Scoring System & Star Excursion Balance Test) 기능의 차이는 없기 때문에(Bressel et al., 2007), 측정 다리(우세/비우세)는 결과에 크게 영향을 주지 않은 것으로 판단된다.

본 총설에서 검색한 다섯 편의 연구 중, 세 편

(Ingersoll et al., 1992; Surenkok et al., 2008; Douglas et al., 2013)이 맨발 균형감각을 평가했다. 균형감각 기능은 맨발로 측정할 때 제일 좋으며, 신발 밑창이 두꺼울수록 그 기능이 감소한다(Robbins et al., 1994). 대부분의 운동종목에서 양말과 신발을 신고 움직이며, 이 연구들이 냉요법에 의한 균형감각 감소가 없거나 부분적인 감소를 보고한 것을 볼 때 냉요법은 실제 균형감각(양말과 신발을 신고)은 부정적일 수 있다.

치료방법

본 총설에서 검색된 연구논문에서 가장 많이 쓰인 처치는 CWI 이다(서른 네 편 중 열일곱 편). 처치 부위가 들어갈 만한 크기의 용기(컨테이너)가 필요하고 또 그 만큼 찬 물을 채워 넣어야하기 때문에 다른 냉요법 만큼 준비나 처치가 간단하지는 않다. 하지만 신체의 불규칙한 말단부위(손가락이나 발가락)에 적용이 용이하며, 처치부위를 움직일 수 있고(예: ankle pump), 압박이 필요하지 않은 처치의 경우 용이하며, 마지막으로 처치 부위를 볼 수 있어 피부가 냉요법에 어떻게 반응하는지 관찰이 가능하다. 물의 온도는 10°C 처치가 가장 많았으며(여덟 편), 1°C에서 20°C까지 다양하였다. 처치시간은 20분이 가장 많았으며(열 편) 5분에서 90분 까지 역시 다양하다. 대부분의 사람들은 CWI가 시작되고 5분에서 6분 사이 무감각을 느낀다고 한다(Hopper et al., 1997; Knight, 1979). 감각의 느낌과 운동기능을 변화시킬 수 있는 시간은 다를 수 있어 무감각을 근거로 처치시간을 결정하기는 어렵다. 또한 5분 동안의 CWI가 고유수용감각에 영향을 주지 않았고(La Riviere & Osternig, 1994) 10분간 CWI가 유연성을 증가시킨 것으로 보고되었지만(Burke et al., 2001), 측정변인이 달라 처치시간에 대한 기준이 될 수 없다. 추후 연구에서는 CWI 처치온도와 시간의 차이에 따른 기능변화가 있는지 관찰할 필요가 있다.

얼음주머니 역시 스포츠현장에서 흔히 쓰이는 냉요법이다. 얼음(crushed ice)주머니를 피부에 직접 닿게 하여 압박붕대로 감아 처치하였을 때 분당 1.17°의 온도감소를 보여, 얼음마사지(0.83°), CWI(0.77°), 그리고 압박붕대 없이 얼음주머니만 처치되었을 때(0.45°)와 비교하여 깊숙이 위치하는 조직의 온도를 가장 빠르게 낮출 수 있는 냉요법으로 받아들여지고 있다(Merrick

et al., 1993; Myrer et al., 1998; Zemke et al., 1998). 그러므로 처치시간이 많지 않다면 얼음주머니와 압박붕대를 이용하여 냉요법 처치를 권한다.

건강한 조직에 얼음마사지를 이용하여 운동기능을 평가한 연구논문은 아직 없다. 얼음마사지는 얼음을 피부에 압박하여 처치하므로 마사지에 의한 국소온도 상승을 막을 수 있으며, 하체에 적용될 경우 자가 처치가 가능하다는 점이다. 위 언급한 것처럼 다른 처치에 비해 얼음마사지가 체온을 빨리 낮추는데 비교적 효과적임을 감안하면 다수의 대상자를 대상으로 냉요법 적용 시 용이할 것으로 생각한다.

냉 챔버는 고가의 장비가 필요하고 그 장비는 고정되어야 하기 때문에, 아직 현장에서 적용이 힘들다. 하지만 짧은 시간 안에 전신의 온도를 낮추기 때문에 신체활동 중 혹은 후 피로회복 전략으로 주로 사용되며, 연구논문들은 그 효과를 보고하고 있다(Pournot et al., 2011; Ziemann et al., 2012). 본 총설에서 검색된 냉 챔버 연구는 두 편이며 고유수용감각은 변화시키지 않았고(Costello & Donnelly, 2012) 균형감각은 처치 후 11분까지 그 기능을 감소시킨 것으로 보고하였다(Gimza et al., 2013). 앞으로 현장에서 냉 챔버의 적용이 증가할 것으로 예상되어 피로회복과 더불어 즉각적인 운동기능의 변화를 관찰할 필요가 있다.

기전

냉요법에 의해 영향을 받을 수 있는 구심성 신호는 기계적수용기(mechanoreceptors), 고유수용기(proprioceptors), 통각수용기(nociceptors), 그리고 온도수용기(thermoreceptors)가 있다(Table 7). CWI는 물에 담긴 모든 조직의 온도를 낮추므로 거의 모든 수용기들이 동시에 반응할 것이고, 근육이나 관절 냉요법 일 때는 그 처치부위에 해당하는 수용기만 반응할 것이다. 예를 들어 허벅지 근육 뒤쪽에 얼음주머니 처치를 한다면, 관절과 인대에 위치하는 Pacinian corpuscle, Ruffini endings, 그리고 joint receptors 들의 활동은 큰 변화가 없을 것이다. 반면에 얼음주머니가 발목이나 무릎관절에 적용된다면 온도에 민감한 수용기들과 위 수용기들이 주로 반응하게 될 것이다.

근육에 냉요법이 처치되어, 피부와 피하조직(subcutaneous

Table 7. Classifications of afferent fibers (Lephart et al., 1997; Silverthorn, 2007).

type	receptor	specific nature	location	adaptation	sensitive to
mechanoreceptors	Meissner's corpuscle	light pressure	skin (superficial)	quick	joint motion and pressure
	Pacinian corpuscle	vibration	capsule & ligament	quick	
	Merkel disks	touch	skin (superficial)	slow	
nociceptors	Free nerve endings	distension (stretch) & pain	around hair roots and under surface of skin	variable	pain
proprioceptors	Ruffini ending	distention length changes tension changes	capsule & ligament	slow	joint position
	Muscle spindle		intrafusal fiber		
	Golgi tendon organ		musculotendinous junction		
	Joint receptor		capsule & ligament		
thermoreceptors	Krause's end bulb	cold	skin	slow	temperature
	Corpuscles of Ruffini	heat			

tissue)을 통과하여 근육의 온도를 낮춘다면, 근육 내 추 내근섬유에 위치하는 근방추(muscle spindles)가 상대적으로 많은 영향을 받게 된다(Miniello et al., 2005). 근방추는 근섬유의 길이 변화를 감지하여 이 정보를 중추신경으로 전달하고, 변화가 있을 때 그 근방추가 위치한 근육을 수축하도록 원심성신호를 보낸다(Silverthorn, 2007). 앞서 살펴본 바와 같이, 냉요법에 의한 이 근방추 활동의 변화는 고유수용감각, 유연성, 근력, 파워, 민첩성, 그리고 균형감각에 모두에 영향을 주는 것 같다.

위 근방추 활동의 변화와 더불어, 근 신경 전달속도(Cornwall, 1994), 활동전위진폭과 근활성 빈도(McConber & Herman, 1971), 그리고 ATP(adenosin triposphate) splitting(Cross et al., 1996)을 떨어뜨려 운동기능에 부정적인 영향을 준다. 더불어, 세포의 대사와 효소작용(enzyme process)은 낮은 온도에서 느려지고(Richendollar et al., 2006), 이는 근력감소를 유발한다(Clarke & Wojciechowicz, 1978). 마지막으로, 근건 단위(musculotendinous unit)와 근 세포 조직의 뻣뻣함(stiffness), 그리고 관절 내 윤활액의 점성증가(Evans et al., 1995)로 인해 관절의 움직임을 방해하여 운동기능이 감소할 수 있다.

가정과 제한점

첫째, 소개된 연구논문은 모두 건강한 세포조직에 적용된 냉요법이 어떻게 근육(기능)을 변화시키는지 관찰한 결과이다. 급성 혹은 만성 부상의 경우 염증반응과 같은 세포조직의 변화로 인해 냉요법 적용 시 다른 결과로 이어질 수 있다. 하지만 관절 냉요법의 경우, 부상이나 질병이 있는 환자들도 본 총설에서 언급한 결과들과 유사한 근력증가와 활성도를 보였으므로(Hopkins et al., 2001; Rice et al., 2009; Pietrosimone et al., 2009),

근육기능의 반응은 어느 정도 일관성이 있는 것 같다.

둘째, 서른 네 편의 연구들의 대상자 대부분은 20대 초중반의 일반인이다. 본 총설의 결론을 근거로 운동선수 혹은 다른 나이의 대상자에게 냉요법 적용 시 운동기능은 유사하게 반응하리라는 가정이 필요하다.

셋째, 본 총설에서 냉요법에 의한 운동기능의 증감은 모두 각 연구에서 보고한 통계결과에 의한 것이다. 대부분의 연구에서 효과크기(effect size)를 보고하지 않아 실제로 대상자가 경험하는 운동기능의 변화를 통계결과로 확인해야 함은 제한점이다. 또한 유사한 처치를 한 연구를 종합하여 효과크기를 계산하면 각각의 연구가 보고한 결과와 다를 수 있어 이 또한 제한점이다. 본 총설에서 살펴본 여섯 가지 운동기능을 나누어 효과크기를 계산해 봄으로 이 제한점을 극복할 수 있을 것이다.

결론 및 제언

검색된 연구들이 보고한 고유수용감각, 근력, 그리고 균형감각은 냉요법에 의한 운동기능 변화의 결과가 달라 뚜렷한 방향을 제시할 수 없다. 유연성은 냉요법 처치로 증가하는 경향을 보였고, 파워와 민첩성 기능은 대체로 그 기능이 감소하는 것으로 보고되었다. 모든 변인에서 감소한 운동기능은 냉요법 처치 10분후 처치 전의 상태로 돌아왔으며, 능동적 준비운동은 이 시간을 단축시킬 수 있다. 스포츠현장에서 냉요법 적용 시, 운동기능과 부상위험을 고려하여 종목과 동작의 특성에 맞는 적절한 방법을 선택하여 적용하기를 권한다.

참고문헌

- Arvidsson, I., Eriksson, E., Knutsson, E. & Arner, S. (1986). Reduction of pain inhibition on voluntary muscle activation by epidural analgesia. *Orthopedics*, 9(10): 1415-1419.
- Baechle, T. R. & Earle, R. W. (2008). *Essential of strength training and conditioning*. 3rd. Human Kinetics, Champaign. pp. 73-75, 458-459.
- Behnke, R. (1973). Cryotherapy and vasodilation. *Athletic Training*, 8(3): 106.
- Brandsson, S., Karlsson, J., Eriksson, B. I. & Karrholm, J. (2001). Kinematics after tear in the anterior cruciate ligament. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 72(4): 372-378.
- Bressel, E., Yonker, J. C., Kras, J. & Heath, E. M. (2007). Comparison of static and dynamic balance in female collegiate soccer, basketball, and gymnastics athletes. *Journal of Athletic Training*, 42(1): 42-46.
- Brodowicz, G. R., Welsh, R. & Wallis, J. (1996). Comparison of stretching with ice, stretching with heat, or stretching alone on hamstring flexibility. *Journal of Athletic training*, 31(4): 324-327.
- Burke, D. G., MacNeil, S. A., Holt, L. E., MacKinnon, N. C. & Rasmussen, R. L. (2000). The effect of hot or cold water immersion on isometric strength testing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(1): 21-25.
- Burke D. G., Holt, L. E., Rasmussen, R., MacKinnon, N. C., Vossen, J. F. & Pelham, T. W. (2001). Effects of hot or cold water immerion and modified proprioceptive neuromuscular facilitation flexibility exercise on hamstring length. *Journal of Athletic Training*, 36(1): 16-19.
- Bryant, A. L., Newton, R. U. & Steele, J. (2009). Successful feed-forward strategies following ACL injury and reconstruction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(5): 988-997.
- Catlaw, K., Arnold, B. L. & Perrin, D. H. (1996). Effect of cold treatment on the concentric and eccentric torque-velocity relationship of the quadriceps femoris. *Isokinetic and Exercise Science*, 5: 157-160.
- Clarke, D. H. & Wojciechowicz, R. A. (1978). The effect of low environmental temperatures on local muscular fatigue parameters. *American Corrective Therapy Journal*, 32(2): 35-40.
- Cornwall, M. W. (1994). Effect of temperature on muscle force and rate of muscle force production in men and women. *Journal of Orthopedic Sports and Physical Therapy*, 20(2): 74-80.
- Cornelius, W. L., Ebahim, K., Watson, J. & Hill, D. W. (1992). The effects of cold application and modified PNF stretching techniques on hip joint flexibility in college males. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 63(3): 311-314.
- Costello, J. T. & Donnelly, A. E. (2012). Effects of whole-body cryotherapy (-110 °C) on proprioception and indices of muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 22(2): 190-198.
- Deal, D. N., Tipton, J., Rosencrance, E., Curl, W. W. & Smith, T. L. (2002). Ice reduces edema. A study of microvascular permeability in rats. *Journal of bone and joint surgery*, 84-A(9): 1573-1578.
- De Jesus, P. V., Hausmanowa-Pertuserwicz, I. & Barchi, R. L. (1973). The effect of cold on nerve conduction of human slow and fast nerve fibers. *Neurology*, 23(11): 1182-1189.
- Dixon, P. G., Kraemer, W. J., Volek, J. S., Howard, R. L., Gomez, A. L., Comstock, B. A., Dunn-Lewis, C., Fragala, M. S., Hooper, D. R., Hakkinen, K. & Maresch, C. M. (2010). The impact of cold-water immersion on

- power production in the vertical jump and the benefits of a dynamic exercise warm-up. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12): 3313-3317.
- Douglas, M., Bivens, S., Pesterfield, J., Clemson, N., Castle, W., Sole, G. & Wassinger, C. A. (2013). Immediate effects of cryotherapy on static and dynamic balance, *The International Journal of Sports Physiotherapy Research*, 8(1): 9-14.
- Dover, G. & Powers, M. E. (2004). Cryotherapy does not impair shoulder joint position sense. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(8): 1241-1246.
- Edwards, A. G. (1971). Increasing circulation with cold. *Athletic Training*, 6: 15-16.
- Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanics of Human Movement*. 4th ed., Champaign, Illinois: Human Kinetics, pp. 68-69.
- Evans, T. A., Ingersoll, C. D., Knight, K. L. & Worrell, T. (1995). Agility following the application of cold therapy. *Journal of Athletic Training*, 30(3): 231-234.
- Ferretti, G., Ishii, M., Moja, C. & Cerretelli, P. (1992). Effects of temperature on the maximal instantaneous muscle power of humans, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(2): 112-116.
- Giemza, C., Czech, P., Paluszak, A., Biec, E., Borzucka, D. & Kuczynski, M. (2013). Acute effects of cryotherapy on postural control. *Neuroscience Letters*, 536: 6-9.
- Grant, A. E. (1964). Massage with ice (cryokinetics) in the treatment of painful conditions of the musculoskeletal system. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation*, 45: 223-228.
- Grob, K. R., Kuster, M. S., Higgins, S. A., Lloyd, D. G. & Yata, H. (2002). Lack of correlation between different measurements of proprioception in the knee. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 84(4): 614-618.
- Gulick, D. T., Kimura, I. F., Sitler, M., Paolone, A. & Kelly, J. D. (1996). Various treatment techniques on signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *Journal of Athletic Training*, 31(2): 145-152.
- Hartig, D. E. & Henderson, J. M. (1999). Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *American Journal of Medicine*, 27(2): 173-176.
- Hayden, C. A. (1964). Cryokinetics in an early treatment program. *Physical Therapy*, 44: 990-993.
- Hatzel, B. M. & Kaminski, T. W. (2000). The effect of ice immersion on concentric and eccentric isokinetic muscle performance in the ankle, *Isokinetics and Exercise Sciences*, 8(2): 103-107.
- Haymes, E. M. & Ryder, R. A. (1983). Effects of leg cooling in peak isokinetic torque and endurance. *American Corrective Therapy Journal*, 37(4): 109-115.
- Houglum, P. A. (2010). *Therapeutic exercise for musculoskeletal injuries*. 3rd. Human Kinetics, Champaign. pp. 20-21, 260-261.
- Hopkins, J. T., Ingersoll, C. D., Edwards, J. & Klootwyk, T. E. (2001). Cryotherapy and transcutaneous electric neuromuscular stimulation decrease arthrogenic muscle inhibition of the vastus medialis after knee joint effusion. *Journal of Athletic Training*, 37(1): 25-31.
- Hopkins, J. T. & Stencil, R. (2002). Ankle cryotherapy facilitates soleus function. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 32(12): 622-627.
- Hopper, D., Whittington, D. & Davies J. (1997). Does ice immersion influence ankle joint position sense? *Physiotherapy Research International*, 2(4): 223-236.
- Hunter, J., Kerr, E. H. & Whillans, M. G. (1952). The

- relationship between joint stiffness upon exposure to cold and the characteristics of synovial fluid. *Canadian Journal of Sports Medicine*, 30(5): 367-377.
- Johansson, R. & Magnusson, M. (1991). Human postural dynamics. *Critical Review Biomedical Engineering* 18(6): 413-437.
- Karpholm, J., Selvik, G., Elmqvist, L., Hansson, L. I. & Jonsson, H. (1988). Three-dimensional instability of the anterior cruciate deficient knee. *Journal of Bone & Joint Surgery*, 70(5): 777-783.
- Kinzey, S. J., Cordova, M. L., Gallen, K. J., Smith, J. C. & Moore, J. B. (2000). The effects of cryotherapy on ground-reaction forces produced during a functional task. *Journal of Sport Rehabilitation*, 9(1): 3-14.
- Ingersoll, C. D., Knight, K. L. & Merrick, M. A. (1992). Sensory perception of the foot and ankle following therapeutic applications of heat and cold, *Journal of Athletic Training* 27(3): 231-234.
- Jones, B. H., Cowan, D. N., Tomlinson, J. P., Robinson, J. R., Polly, D. W. & Frykman, P. N. (1993). Epidemiology of injuries associated with physical training among young men in the army. *Clinical Epidemiology*, 25(2): 197-203.
- Kimura, I. F. & Gulick, D. T. & Thompson, G. T. (1997). The effect of cryotherapy on eccentric plantar flexion peak torque and endurance, *Journal of Athletic Training* 32(2): 124-126.
- Knight, K. L. (1979). Ankle rehabilitation with cryotherapy. *The Physician and Sports Medicine*, 7(11): 133.
- Knight, K. L. & Londeree, B. R. (1980). Comparison of blood flow in the ankle of uninjured subjects during therapeutic applications of heat, cold, and exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 12(1): 76-80.
- Knight, K. L., & Draper, D. O. (2013). *Therapeutic modalities: the art and science* Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, pp. 443.
- Kunesch, E., Schmidt, R., Nordin, M., Wallin, U. & Hagbarth, K. E. Peripheral neural correlates of cutaneous anaesthesia induced by skin cooling in man. (1987). *Acta Physiologica Scandinavica*, 123(2): 247-257.
- LaRiviere, J. & Osternig, L. R. (1994). The effect of ice immersion on joint position sense. *Journal of Sport Rehabilitation*, 3(1): 58-67.
- Latash, M. L. (2007). *Neurophysiological basis of movement*. 2nd ed.. Champaign, Illinois: Human Kinetics, pp. 61-184, 74-79, 258-259.
- Lephart, S. M., Pincivero, D. M., Giraldo, J. L. & Fu, F. H. (1997). The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 25(1): 130-138.
- Matthews, P. B. (1988). Proprioceptors and their contribution to somatosensory mapping: complex messages require complex processing. *Canadian Physiology and Pharmacology*, 66(4): 430-438.
- Mattacola, C. G. & Perrin, D. H. (1993). Effects of cold water application on isokinetic strength of the plantar flexors. *Isokinetics and Exercise in Science* 3: 152-159.
- McComber, S. A. & Herman, R. M. (1971). Effects of local hypothermia on reflex and voluntary activity. *Physical Therapy*, 51(3): 271-282.
- Melzack, R. & Wall, R. D. (1965). Pain mechanisms: a new theory. *Science* 50(3699): 971-979.
- Mense, S. (1978). Effects of temperature on the discharge of muscle spindles and tendon organs. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*, 374(2): 159-166.
- Merrick, M. A., Knight, K. L., Ingersoll, C. D. & Potteiger, J. A. (1993). The effects of ice and compression wraps on intramuscular temperatures at various depths. *Journal of*

- Athletic Training*, 28(3): 236-245.
- Merrick, M. A. (2002). Secondary injury after musculoskeletal trauma: a review and update. *Journal of Athletic Training* 37(2): 209-217.
- Miniello, S., Dover, G., Powers, M. E., Tillman, M. & Wikstrom, E. (2005). Lower leg cold immersion does not impair dynamic stability in healthy women. *Journal of Sport Rehabilitation*, 14(3): 234-247.
- Minton, J. (1993). A comparison of thermotherapy and cryotherapy in enhancing supine extended-leg, hip flexion. *Journal of Athletic Training* 28(3): 172-176.
- Myrer, J. W., Measom, G. & Fellingham, G. W. (1998). Temperature changes in the human leg during and after two methods of cryotherapy. *Journal of Athletic Training* 33(1): 25-29.
- Nordin, M., Wallin, U. & Haqbarth, K. E. (1987). Peripheral neural correlates of cutaneous anaesthesia induced by skin cooling in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 129(2): 247-257.
- Oliveira, N. M. L., Rainero, E. P. & Salvini, T. F. (2006). Three intermittent sessions of cryotherapy reduce the secondary muscle injury in skeletal muscle of rat. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5(2): 228-234.
- Oliveira, R., Ribeiro, F. & Oliveira, J. (2010). Cryotherapy impairs knee joint position sense. *International Journal of Sports Medicine* 31(3): 198-201.
- Patterson, S. M., Udermann, B. E., Doberstein, S. T. & Reineke, D. M. (2008). The effects of cold whirlpool on power, speed, agility, and range of motion. *Journal of Sports Science and Medicine* 7(3): 387-394.
- Pietrosimone, B. G., Hopkins, J. T. & Ingersoll, C. D. (2008). The role of disinhibitory modalities in joint injury rehabilitation. *Athletic Therapy Today*, 13(6): 2-5.
- Pietrosimone, B. G. & Ingersoll, C. D. (2009). Focal joint cooling increases the quadriceps central activation ratio, *Journal of Sports Science* 27(8): 873-879.
- Pietrosimone, B. G., Hart, J. M., Saliba, S., Hertel, J. & Ingersoll, C. D. (2009). Immediate effects of transcutaneous electrical nerve stimulation and focal knee joint cooling on quadriceps activation, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(6): 1175-1181.
- Pournot, H., Bieuzen, F., Louis, J., Mounier, R., Fillard, J. R., Barbiche, E. & Hausswirth, C. (2011). Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PLoS One*, 6(7): e2278.
- Richendollar, M. L., Darby, L. A. & Broan, T. M. (2006). Ice bag application, active warm-up, and 3 measures of maximal functional performance. *Journal of Athletic Training* 41(4): 364-370.
- Rice, D., McNair, P. J. & Dalbeth, N. (2009). Effects of cryotherapy on arthrogenic muscle inhibition using an experimental model of knee swelling. *Arthritis & Rheumatism* 61(1): 78-83.
- Riemann, B. L. & Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training* 37(1): 71-19.
- Robbins, S., Waked, E., Gouw, G. J. & McLaran, J. (1994). Athletic footwear affects balance in men. *British Journal of Sports Medicine*, 28(2): 117-122.
- Ruiz, D. H., Myrer, J. W., Durrant, E. & Fellingham, G. W. (1993). Cryotherapy and sequential exercise bouts following cryotherapy on concentric and eccentric strength in the quadriceps. *Journal of Athletic Training*

- 28(4): 320-323.
- Saeki, Y. (2002). Effect of local application of cold or heat for relief of pricking pain. *Nursing & Health Sciences*, 4(3): 97-105.
- Silverthorn, D. U. (2007). *Human physiology*. 4th ed., San Francisco, CA: Pearson Education, pp. 243-287, 417-436.
- Surenkok, O., Aytar, A., Tuzun, E. H. & Akman, M. N. (2008). Cryotherapy impairs knee joint positions sense and balance. *Isokinetics and Exercise Sciences*, 16(1): 69-73.
- Templeton, G. H., Wildenthai, K., Willerson, J. T. & Reardon, W. C. (1974). Influence of temperature on the mechanical properties of cardiac muscle. *Circulation Research*, 34(5): 624-634.
- Thieme, H. A., Ingersoll, C. D., Knight, K. L. & Ozmun, J. C. (1996). Cooling does not affect knee proprioception. *Journal of Athletic Training*, 31(1): 8-11.
- Tremblay, F., Estephan, L., Legendre, M. & Sulpher, S. (2001). Influence of local cooling on proprioceptive acuity in the quadriceps muscle. *Journal of Athletic Training*, 36(2): 119-123.
- Uchio, Y., Ochi, M., Fujihara, A., Adachi, N., Iwasa, J. & Sakai, Y. (2003). Cryotherapy influences joint laxity and position sense of the healthy knee joint. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(1): 131-135.
- Wassinger, C. A., Joseph, B. M., Gatti, J. M., Conley, K. M. & Lephart, S. M. (2007). Proprioception and throwing accuracy in the dominant shoulder after cryotherapy. *Journal of Athletic Training*, 42(1): 84-89.
- Wexler, I. & Mayer, R. F. (1973). Temperature sensitivity of slowly adapting mechanoreceptor. *Brain Research*, 59: 384-388.
- Zemke, J. E., Anderson, J. C., Guion, W. K., McMillan, J. & Joyner, A. B. (1998). Intramuscular temperature responses in the human leg to two forms of cryotherapy: ice massage and ice bag. *Journal of Orthopedic Sports and Physical Therapy*, 27(4): 301-307.
- Ziemann, E., Olek, R. A., Kujach, S., Grazywacz, T., Antosiewicz, J., Garszka, T. & Laskowski, R. (2012). Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professional tennis players. *Journal of Athletic Training*, 47(6): 664-672.