

운동선수의 경기력 향상을 위한 영양관리

조 성 숙

대한체육회 선수촌

Opimal Nutrition For Sports and Exercise

Seong-Suk Cho

Training Center of Korea Sports Council, Seoul, Korea

서 론

스포츠에서 경기력 향상과 관련된 요소는 유전적인 재능과 훈련상태이다(Wolinsky 1998). 강도 높은 훈련을 하고 유전적인 재능을 갖고 있다 해도 이를 뒷받침 할 수 있는 적극적인 영양 보충을 하지 않거나 운동에 대한 열정을 갖고 있지 않다면 경기력은 기대에 못 미칠 수도 있다.

운동선수들은 필요로 하는 적절한 양의 영양소를 공급받지 못하면 에너지 공급이 불충분하고, 대사가 활발하지 못하고, 체조적이나 효소의 합성능력이 떨어지므로 경기력을 감소시키는 원인이 된다. 과다하게 공급된 영양도 경기력의 감소를 초래하는데 정상적인 생리과정과 체구성의 비율에 바람직하지 못한 영향을 미치기 때문이다(McArdle 등 1999).

운동선수들의 적절한 영양상태는 개인적 특성(성, 연령, 체중, 식사습관, 생활습관 등), 운동종목, 운동조건(훈련형태) 등 다양한 요인에 영향을 받고 있다. 따라서 운동종목별 또는 개인별로 일정하게 영양을 권장하는 것은 실제로 어렵다. 그러나 선수들이 필요로 하는 모든 영양소를 제때에 알맞은 양을 섭취한다는 것이 중요하다. 즉 어떤 상황에서 특별한 영양섭취가 필요하거나 섭취를 증가시켜야 하는가를 인식해야 한다.

강도 높은 훈련을 하는 선수들에게서 경기력과 식사와의 관계에 대한 초기의 관심은 에르고제닉한 식품이나 영양소에 대한 것이었다. 그렇지만 운동생리학의 연구발전과 함께 운동을 할 때 일어나는 생화학적 스트레스를 알아내고 영양적인 요구에 대한 연구를 하기 시작하였다. 계속적으로 강도 있는 훈련을 할 때 여러 가지 대사적·생리적 변화가 일어나는 것이 밝혀졌다.

본문에서는 이런 연구결과를 바탕으로 운동을 할 때 영양소의 요구에 맞는 실제적인 지침에 대해 알아보려고 한다.

1. 운동시 에너지 이용과 피로

1960년대 근육 생검법의 발달과 함께 운동을 할 때 사용되는 에너지의 종류와 에너지 생성 비율에 대해 알게 되었다(Bergstrom 등 1967). 운동을 하면 혈당, 근육 글리코겐, 혈장 지방산, 근육 내 중성 지방이 중요한 에너지원이 된다(Romijn 1993; Richer 등 1981). 에너지원으로 쓰이는 비율은 운동 강도와 운동 지속 시간(Romijn 1993), 훈련 정도(Martin 등 1993), 운동 시작시 근육 글리코겐 농도(Hargreaves 등 1995), 성별의 차이(Rooney 등 1993) 등에 달려 있다. 체내에 저장되어 있는 지방량은 양적인 면에서 의의가 있다고 하겠지만, 지방산이 산화되는 속도에는 한계가 있기 때문에 중간 강도 이상의 운동을 하는 경우에는 당질의 산화에 의존하게 된다(Jeukendrup 1997).

당질은 휴식시 체내 에너지 필요량의 약 40%를 공급한다. 저강도 운동에서는 지방이 중요한 에너지원이지만 중간 정도의 강도에서는 당질 사용이 50% 또는 그 이상으로 증가한다. 최대 산소 섭취량 70~80% 이상의 격렬한 수준으로 운동을 수행할 때 당질은 보다 중요한 에너지원으로 이용된다. 1분 이상 지속되는 고강도 무산소 운동과 1~2시간 지속되는 고강도 유산소 운동에서도 당질은 중요한 에너지원으로 이용된다(Romijn 1993; Richer 등 1981; 김성수·정일규 1995).

운동을 할 때 사용되는 당질의 1차적 형태는 활성화된 상태로 근육 속에 저장되어 있는 글리코겐이다. 운동하는 동안 근육 글리코겐이 이용되면서 혈당이 근육으로 들어가서 에너지 생성 경로를 거치게 된다. 그후 간은 저혈당을 방지하고 혈당치를 일정하게 유지시키기 위해서 포도당의 일부

를 혈액으로 방출시킨다. 적당한 양의 운동을 수행하는 동안 근육 글리코겐과 간 글리코겐이 같은 양 사용된다. 그러나 힘든 운동을 하면 근육의 글리코겐 사용량이 더 많아진다.

1) 근육 글리코겐 농도 감소와 피로 발생

장시간 동안 중간강도나 고강도의 유산소 운동을 하면 근육 글리코겐 저장량에 의해서 제한을 받게 된다. 근육 글리코겐 고갈은 최대 산소 섭취량 65~90%의 강도로 운동을 할 때에 제한적인 요소로 작용하는 것으로 생각된다. 근육 글리코겐 농도가 40 mmol/kg 이하일 때에 운동 수행력에 부정적인 영향을 미친다(Costill 등 1992). 근육 내 글리코겐이 완전히 고갈될 때만 운동 수행력이 어렵게 되는 것이 아니라 낮은 글리코겐 수준이나 근섬유 내의 글리코겐이 해당과정에서 쉽게 이용할 수 있지 못한 부위에 포함되어 있을 때에도 해당과정에 장애를 받게 된다.

피로의 발생은 특정 근섬유의 유형에 따른 근육 글리코겐의 고갈과 관련이 있다(Vollestad 1984). 최대 산소 섭취량 65~75%의 강도로 장시간 운동을 할 때 type I (적근섬유, 산화성 근섬유)과 type IIa (백근섬유, 산화 해당성 근섬유) 섬유는 운동 초기에 쉽게 동원된다. 그러나 근육 글리코겐이 고갈됨에 따라 운동선수들은 같은 페이스를 유지하기 위하여 type IIb 섬유가 동원되어야 한다. Type IIb 섬유가 동원되기 위해서는 정신적인 노력이 필요하며 더 많은 정신적인 스트레스를 주게 된다. 또한 더 많은 젖산 생성과 산화 현상, 운동으로 인해 감지된 스트레스를 증가시킨다. 근육 글리코겐이 고갈되는 것은 운동 수행력을 저하시키는 직접적인 원인이 되므로 운동을 더 이상 할 수 없게 만드는 원인이 된다(Bergstrom 등 1967).

2) 저혈당증과 피로 증가

운동을 계속함에 따라 간에 저장된 글리코겐이 고갈되고 이는 저혈당증을 유발한다. 당신생 과정으로 근육의 포도당 이용과 보충을 맞출 수 없기 때문이다(Davis 1986).

저혈당증은 중추신경계의 기능을 손상시키는 것으로 알려져 있으며 때로는 급성 현기증, 근 쇠약, 피로 등을 수반한다(Davis 1986). 운동시 저혈당치는 혈액 100 ml 당 45 mg (정상치 80~120 mg)이다. 인체는 포도당 농도를 일정하게 유지하기 위한 노력을 하며 운동을 할 때도 인슐린 농도는 다소 감소되고 에피네프린, 글루카곤, 코티졸 등은 약간 증가되어 혈당농도를 유지시키는데 도움을 준다(Williams 1999).

운동선수에게 저혈당증이 생기는 경우는 운동하기 30~90분 전에 당질을 섭취한 경우(Costill 등 1977)와 장시간 운동을 할 때이다. 최대 산소 섭취량 30~50% 강도의 운동

시 주요 에너지원이 지방이므로 당질 사용량이 최소화된다. 낮은 강도에서 포도당 신생은 저혈당 수준 이상으로 혈당을 유지할 수 있다. 그러나 최대 산소 섭취량 50~60% 이상으로 운동을 하면 근육 글리코겐 사용은 증가하고 더 많은 포도당이 사용된다(Hoelzer 등 1986). 당신생도 이미 사용한 것을 대체할 만큼 빠르지 않다. 지구성 운동 후반부에 혈당 농도는 저혈당증만큼 낮아진다. 저혈당증이 물리적인 운동에 손상을 주는지는 개인에 따라 다르다. 최대 산소 섭취량 65~75%에 해당하는 운동을 수행하는 후반부에 저혈당증이 나타나는데 혈액 100 ml 당 25 mg 이하의 저혈당 상태에서도 운동을 지속할 수는 있다. 장시간 운동시 저혈당증이 피로발생의 주요 원인일 것으로 생각되고 있지만 개인적인 차이가 클 것으로 보인다(Hoelzer 등 1986).

2. 운동 수행력을 위한 당질 보충

운동을 할 때 저혈당증이나 근육 글리코겐이 감소되어 피로를 야기시키고(Ahlborg 등 1967) 포도당이나 다른 형태의 당질을 보충하면 피로발생이 늦어지고 운동 수행력이 향상된다(Coyle 등 1983; Coyle & Coggan 1984). 많은 연구자들은 운동수행력에 긍정적인 결과를 얻기 위하여 당질 섭취의 시기, 양, 종류에 대한 많은 연구를 하였다. 따라서 섭취된 당질의 양과 종류(Murray 등 1989), 액체와 고체의 유형에 따른 차이(Alberici 등 1993), 섭취 방법(구강 섭취, 정맥 주사 등), 운동 전·중·후의 섭취 시기(Costill 1985), 간과 근육의 글리코겐 함량, 운동강도와 지속시간, 운동 종류(달리기, 수영, 사이클 등), 대상자의 신체적으로 적용된 수준 등에 따라 다양한 결과를 나타낸다(Mitchell & Voss 1990; Coyle 1986). 어느 정도 일반적인 관련성을 갖고 결과가 정리되고 있으므로 다음과 같이 논리적으로 제시될 수 있다.

1) 경기 전 영양 보충

운동하기 3~4시간 전에 고당질 식사(총 열량의 65~75%)를 하는 것이 공복으로 운동을 시작하는 것보다 효과가 있다(Coyle 1995; Sherman 등 1983). 60~240분 이상 지속되는 경기와 후반부에 속도를 내는 경기 조건을 포함하는 경기를 시작하기 90분 이전에 당질을 추가로 공급하면 경기력을 향상시킨다. 혈당과 인슐린 농도를 정상으로 유지할 수 있다. 경기를 시작하기 4시간 전에는 체중당 약 5 g의 당질을 섭취한다(Sherman 1983). 단순당 형태보다는 곡류나 과일 및 야채류를 두루 섭취하는 것이 당의 흡수율을 높여 글리코겐 저장량을 증가시킬 수 있다(Colman 1991; Clark 1990). 일반적인 운동을 하는 경우 300~800 kcal 정도의 식사로 섬유소가 적은 당질 식사를 하고(Clark 1990),

장시간 지속되는 운동을 하는 경우에는 200 g의 당질을 함유하는 고당질 식사를 하는 것이 운동 후반부에 효율적인 에너지를 생성하는데 바람직하다(Coyle 1995). 운동을 시작하기 몇 시간 전에 마지막 식사와 간식을 하는 것이 좋은지는 아직 논란의 여지가 있다.

경기하기 전의 식사는 위장의 불편함(구토, 메스꺼움, 가득참, 경련)이 없도록 해야 한다. 음식이 소화되어 영양소가 흡수되는 과정은 혈액공급을 위하여 근육에 대사가 일어나는 과정과 경쟁을 한다. 그러므로 경기를 시작할 때는 위가 완전히 비워져 있어야 근육에 혈액을 충분히 공급할 수 있다. 육류는 단백질과 지방이 많아서 소화시간이 오래 걸리므로 경기 전에 피하는 것이 좋다. 이때 식사의 양은 시합하는 시간, 마지막 식사와 경기와의 시간 그리고 경기 전에 운동선수가 음식을 잘 소화·흡수하는가 등에 달려 있다(Clark 1990).

운동을 시작하기 15~60분 전에 당질을 섭취하면 저혈당 증세가 나타나고(Costill 1977), 운동 수행 능력이 감소된다(Keller 등 1984). 당질 섭취로 높아진 혈당에 의해 분비된 인슐린이 경기를 시작할 때까지 높다. 높아진 인슐린은 지방세포로부터 지방 분해를 막을 뿐 아니라 인슐린 의존성 조직으로의 포도당 흡수 및 이용을 촉진시킨다(Coivisto 1981). 운동 초기에 당질 이용 비율이 높아져서 글리코겐 고갈이 일찍 일어나고 피로의 발생을 앞당긴다. 그러나 당질 섭취에 대한 개인의 혈당 반응은 다르고 혈당이 저하되는 것도 다르므로(Wilkinson 등 1998) 훈련하는 동안 당질을 섭취하여 신체의 반응을 미리 알아보는 것이 좋다. 저혈당증이 발생할 가능성이 있는 선수는 운동하기 15~60분 전에 혈당지수가 높은 음식은 피해야 한다(Thomas 등 1991).

장시간 운동을 할 때 운동시작 직전(5~10분 이내)에 당질을 공급하면 피로 발생을 감소시키고 운동능력도 향상시킨다(Neuffer 등 1987). 최대 산소 섭취량 80%의 강도로 운동을 하면 수행력은 10% 더 증가한다(Neuffer 등 1987). 다른 형태의 운동에서도 포도당 섭취시 에피네프린 분비가 증가되었고 호르몬의 상호작용으로 혈당농도를 유지하거나 증가시켜 저혈당증을 방지하기 위해 도움을 줄 것이다.

시합하는 날 가장 중요한 것은 운동선수가 편안하게 느끼도록 하는 것이며, 운동선수로 하여금 새로운 음식을 먹거나 갑작스럽게 식생활 패턴을 변화시키지 말아야 한다. 예를 들면 갑작스럽게 복합 당질과 섬유소를 섭취하면 위장운동이 증가하여 불편함을 느낀다. 그러므로 훈련기간 중에 경기 전 식사에 대한 경험을 미리 해야 한다. 그리고 시합하는 날의 시간이 언제인지를 미리 알아서 신체가 시합

하는 날에 익숙해지도록 오랫동안 연습을 해야 하고 시합 전의 식사도 미리 결정해 두는 것이 좋다.

2) 경기 중 영양 보충

1923년 보스톤 마라톤 달리기 참가한 선수들의 혈당 농도가 감소하여 피로해지고 컨디션이 나빠지므로 지구력 운동을 하게 될 때 당질이 에너지를 계속 내도록 하기 위해서는 체내 당질을 저장하는 것이 중요하다(Levine 1924). 지구력 운동을 하기 위해서는 당질 섭취가 필수적이며(Christensen 등 1939) 지치는 지점에서 200 g의 포도당을 먹으면 운동을 더 지속할 수 있다(Boje 1936). 1960년대에는 근육 생검을 통해 운동을 하는 동안 당질 이용에 대한 연구가 많이 이루어졌다(Ahlborg 등 1967; Berstrom 등 1967). 그러나 운동하는 동안 수분 공급만이 가장 중요하며, 당질을 공급하면 위배출이 늦어지기 때문에 충분한 양의 물을 마시는 것이 지구력 운동시에 가장 좋은 수분 보충이 될 수 있다(Costill 등 1974)고 했다.

1920년대의 선구적인 연구에도 불구하고 그 이후에는 지구력 운동시에 당질을 섭취하면 운동수행능력을 향상시킬 수 있다는 의견은 1980년대 말까지 해결되지 않았다가 다시 운동하는 동안 당질 섭취에 대한 관심이 일어나기 시작했다.

60~90분 이상 운동을 하는 동안 근육 글리코겐이 고갈되고 나면 그 다음 혈당을 어떻게 쓰느냐가 중요하다. 운동하는 동안 땀을 통해 분비된 수분과 당질을 섭취하여 근육에 포도당을 공급하면 지구력을 증가시킬 수 있다(Coyle 등 1983). 장시간 운동을 하는 동안 당질을 섭취하는 것은 혈중 코티졸 농도를 낮추고 시상하부-뇌하수체-부신 축의 활성을 저하시킨다. 따라서 시상하부와 간조직에 있는 포도당 수용체에 의해 운동으로 인한 코티졸의 반응이 조절되므로서 저혈당의 반응을 지연시킬 수 있는 것으로 생각된다(Denster 등 1992). 또한 당분을 보충할 때 수분을 공급하면 글리코겐이 고갈되는 것을 감소시킬 수 있으므로(Hargreaves 등 1996) 피로하게 되는 점을 30~60분 정도 지연시킬 수 있고 운동 후반에 근육이 혈당에 의존하게 할 수 있다(Coggan & Coyle 1988).

당질을 운동 중에 공급하는 것은 혈당 농도를 재충전시키고 당질 산화를 증가시키며, 피로발생을 지연시키는데 도움을 준다(Costill 1988; Coyle 1992; Sherman 등 1991; Hargreaves 등 1996). 운동의 마지막 단계에서 측정된 운동 자각도를 기준으로 한 심리학적 인지수준도 감소된다. 장시간 운동 중의 당질 섭취는 비교적 높은 페이스를 유지할 수 있고 운동 후반기에 스프린트 할 수 있는 능력을 향

상시킨다(Costill 1988).

다른 연구에서는 70~90분 동안 운동을 할 때나(Maughan 1990) 6~14분의 짧은 운동을 하는 경우에도 당질 보충이 긍정적인 결과를 가져온다(Coggan & Coyle 1989; Mitchell 등 1988)는 연구결과가 발표되고 있다. 정확한 결론을 내리기 위한 앞으로의 더 많은 연구가 필요하다.

운동하는 동안 공급하는 당질을 어떤 형태로 공급하는 것이 운동 수행력에 가장 긍정적인가에 대해 많은 연구가 이루어졌다. 당질을 혈액을 통해 활동근까지 보내는 것을 조절하는 중요한 요소는 위배출 속도이며 섭취하는 용액의 삼투질 농도와 에너지 함량이 위배출 속도에 중요한 영향을 미치는 것으로 보인다. 위배출 속도는 섭취한 용액의 성분(당질, NaCl), 운동강도 등에 따라 달라질 수 있다.

농축된 실내용액은 위에 머무는 시간이 길어지며 시간이 경과함에 따라 포도당 농도는 달라진다(Maughan 등 1991). 에너지가 분배되는 비율은 마시는 용액의 농도에 비례하지만 고당질 용액은 위배출을 지연시켜서 흡수할 수 있는 양의 양을 감소시킨다. 아주 높은 농도일 경우는 특히 물을 장으로 끌어내어 오히려 탈수를 초래할 수 있을 뿐 아니라 10% 이상의 고당질 용액은 위장 불편을 초래한다. 위배출 속도가 당질 함량에 의해 지연되는 기전은 불분명하며 삼투질 농도 때문일 것으로 추측된다. 운동하는 동안 가장 적당한 당질의 농도는 5~8%이며(Milliard-stafford 1992), 등장성 용액(7% sucrose)은 고장성 용액(15% glucose-fructose)보다 더 효과적으로 혈장량을 유지할 수 있다. 과일주스(약 12~15% 당질)와 청량음료(약 11% 당질)는 운동시 효과적이지 않으며 과일주스의 경우 두배로 희석하여 섭취하면 된다.

섭취하는 당질의 종류는 포도당(glucose), 자당(sucrose), 과당(fructose), 포도당 중합체(glucose polymers) 등이다. 당질에 따라 위배출 속도가 차이가 나는지에 대한 연구결과는 다양하다(Foster 등 1980; Sole & Noakes 1989). 포도당 중합체는 같은 농도의 포도당에 비해 삼투질 농도가 낮기 때문에 위배출 속도를 방해하지 않으면서 장까지 분배되는 기질의 양을 증가시켜 포도당을 많이 흡수할 수 있는 것으로 보인다(Sole & Noakes 1989). 과당 용액은 포도당 용액보다 빨리 배출되지만 포도당과 포도당 중합체보다 쉽게 소화되지 않는다(Massicote 등 1989). 위장에서 흡수가 느리고 간에서 포도당으로의 전환이 느리기 때문이다. 과당 섭취시 위와 장이 불편하게 되는 것은 소장에서 흡수기전과 관련 있는 것으로 생각된다(Murray 등 1989). 그러나 과당이 갖고 있는 문제는 포도당과 함께 섭취했을 때 피할 수 있다. 스포츠 음료에서 혼합된 당(50% fruct-

ose + 50% glucose)을 사용하면 위배출 속도와 장에서의 흡수에 도움이 된다(Cole 등 1993). 자당은 포도당과 과당으로 구성되었지만 소화기전 때문에 위와 장이 불편함을 일으키지 않고 장의 상피세포에서 가수분해되어 단당류로 된다. 결과적으로 과당을 섭취하면 작은 분자로 가수분해되어 장관 내로 확산되며 포도당이 있어서 과당의 흡수를 자극하게 된다(Murray 등 1989).

위배출 속도는 섭취한 용액의 양이 증가할수록 증가한다. 1회 섭취시(single feeding) 섭취한 양이 200 ml에서 600 ml 까지 증가시키면 위에서 배출되는 양은 600 ml 섭취할 때까지 증가한다. 위의 양이 증가함에 따라 위배출 속도가 증가하는 것은 위내에서의 압력이 증가하여 위운동이 증가되기 때문이며 600 ml 이상을 섭취할 때 더 이상 증가되지 않는 것은 연동운동에 의한 수축을 저해하여 더 이상 위배출 속도를 증가시키지 않기 때문인 것으로 보인다(Minami & McCallum 1984). 다른 중요한 면은 섭취한 후 시간이 경과함에 따라 지속적으로 위배출이 된다는 것이다. 결과적으로 위에 용액의 양이 많이 유지될수록 유리하다는 것을 알 수 있다. 따라서 매 15분마다 섭취하여 위에 남아 있는 양이 많게 하면 이런 자극 때문에 위배출이 처음 섭취했을 때처럼 빨라진다.

요약해 보면 당질과 수분이 최대한 분배될 수 있는 것은 섭취한 양과 마시는 형태에 따라 다르다. 미국 스포츠 의학회(ACSM)에서는 땀을 통한 수분 손실량과 위에서 배출되는 능력을 기초로 0.83~1.65 l/h를 여러 번으로 나누어 섭취할 것을 권장하고 있다. 운동 수행력을 증가시키려면 30분마다 약 24 g의 당질을 보충시켜야 되며 이는 5%의 당질이 들어 있는 음료를 15분마다 1컵씩(200~250 ml) 마시면 된다.

달리기 선수들은 액체 상태를 더 좋아하고 사이클 선수들은 고체 및 액체를 모두 먹는 경향이 있다(Devin 등 1986). 고체이든 액체이든 몸에서 잘 맞는 것을 먹는 경험을 쌓는다. 자신이 필요한 간식과 스포츠 음료를 준비해서 3시간 동안 달리면서 에너지를 충분히 공급하며, 운동하면서 먹는 것을 즐기도록 스스로 터득하는 것도 필요하다.

3) 운동 후 회복시 영양

힘든 경기를 연속적으로 할 경우 총 열량의 70%(500~600 g의 당질)는 당질을 섭취해야 근육의 글리코젠을 재보충할 수 있다(Coleman 1994). 운동 후 근육의 글리코젠이 재저장되는 비율은 한시간에 5%이고 완전히 저장하려면 최소한 20시간이 걸린다. 그러나 격심한 운동을 하고 나서 바로 당질을 보충하고 다시 2시간 간격으로 체중 1

kg 당 0.7~1.5 g의 당질을 보충하면 글리코겐 합성률이 최대화된(Blom 등 1987; Ivy 등 1988). 운동 직후에는 근육으로 흐르는 혈액량이 많고 근육세포는 포도당을 더 많이 흡수할 수 있기 때문이다. 운동 후 근육세포는 인슐린에 대해 예민해져서 글리코겐 합성을 증가시키므로 운동 후 즉시 당질을 섭취하는 것이 좋다(Richer 등 1982; Cartee 등 1989). 이때의 글리코겐 저장률은 시간당 7~8%이다. 글리코겐 재합성이 가장 빨리 일어나는 시간은 운동 직후 2시간 동안인 것으로 보고되었다(Ivy 등 1988; Conlee 등 1978). 운동 후 섭취하는 당질의 종류(단순당, 복합당)에 대해 상이한 결과가 보고되고 있는데 일반적으로 운동 직후에는 배가 고프지 않고 소화액의 분비도 감소되어 있으므로 고당질 음료인 스포츠 음료, 과일주스, 상품화된 당질 음료 등을 마시는 것을 권장한다. 운동 후 15~30분 이내에 50~100 g의 당질(200~400 kcal)을 섭취하고, 매 2~4시간마다 100 g의 당질을 더 섭취할 것을 권장한다(Ivy 등 1988). 처음 당질 섭취는 고당질 음료(과일주스 2컵, 식혜 2컵)가 좋지만 그후에는 고당질 식사가 좋다. 당질 섭취 시 단백질이 함께 공급되면 인슐린 상승효과를 가져와서 근육 글리코겐 합성에 훨씬 유리하다(Zawadzki 1992). 당질 섭취가 늦어질수록 근육 글리코겐 저장이 감소되며 회복이 늦어진다.

하루에 두번씩 훈련을 하게 되면 신체가 충분히 휴식할 여유가 없으므로 피로가 쌓여 더욱 피로해질 수 있다. 2시간 훈련하는 동안에 신체의 근육 내에 저장된 에너지는 모두 사용되고 만다. 그러므로 오후 운동이나 다음날의 훈련을 위해 탄수화물 종류의 에너지원인 글리코겐을 근육에 보충하는 것이 중요하다(Costill 1971; Costill & Miller 1981).

훈련을 연속적으로 3일 동안 매일 2시간 하고 난 후에는 근육에 저장된 탄수화물은 거의 다 사용되고 만다. 그리고 운동선수는 피로에 지치게 된다. 그러나 탄수화물 함량이 많은 식사를 하면서 같은 강도로 같은 시간 운동을 했을 때 근육 내의 탄수화물 함량은 훈련을 시작하기 전과 거의 같은 수준이 된다(Sherman 등 1981).

4) 글리코겐 부가 방법

운동을 시작하기 전에 근육 글리코겐 저장량이 많을수록 운동지속 시간이 길어진다. 또한 피로를 느끼기 시작하는 것은 글리코겐 저장량의 고갈과 깊은 관련이 있다. 음식을 조절하여 근육 글리코겐 저장량을 변경시키거나 증가시킬 수 있는가?

근육 글리코겐 축적량을 촉진하기 위하여 Bergstrom 등

(1967)에 의해 제안된 식사 방법으로 시합 6일 전을 시작으로 해서 처음 3일간은 심한 운동과 더불어 단백질과 지방식을 주로 하여 글리코겐을 완전히 고갈시킨 후, 다음 3일간은 고당질 식사에 가벼운 운동을 하면 체내 글리코겐 함량이 두 배로 늘어난다. 그후 Sherman 등(1981)의 연구 결과 시합하기 6일 전부터 3일 전까지는 훈련시의 식사법을 따르고 시합하기 3일 전부터 전체 에너지 섭취의 70%가 당질인 당질 부가식을 했을 때도 글리코겐 합성이 증가되었다. 지구력을 요구하는 90분 이상의 운동종목은 글리코겐 부가법이 유리하다는 것은 일반적으로 잘 받아들여지고 있다(Hoffman 등 1991).

고지방, 고지방 식이를 하는 처음 3일 동안은 소화불량이나 메스꺼움을 초래하기도 하고 저혈당증으로 인한 무기력감, 피로감 그리고 불안감과 초조감을 초래할 수도 있다. 일부 선수에게는 부정맥이나 비정상적인 심장수축이 보고된 바 있다. 글리코겐이 1 g 저장될 때 저장되는 물의 양은 2.7 g으로 단거리 선수들은 오히려 체중을 늘릴 수 있으므로 운동결과에 좋지 못할 수도 있다(McArdle 등 1991). 체중증가로 답답함을 초래하고 근육경련이나 피로가 올 수도 있다는 점도 감안하여 개인에게 적절한 수준을 찾아야 할 것이다. 수분에 의한 체중 증가는 장시간 운동을 하는 지구력 운동 선수에게는 체중증가에 따른 불합리함보다는 에너지 보급으로 인한 도움이 더 크고 글리코겐 분해시에 생성되는 물은 추가적인 수분 보급의 이점도 있다.

5) 실제적인 지침

중간 정도나 강한 강도로 90~120분 이상 운동을 하는 선수들은 당질 보충시 도움을 받는다. 마라톤, 크로스 컨트리 스키, 도로 사이클 등은 대표적인 종목이다. 축구와 같은 격렬한 수준을 포함한 간헐적인 운동을 장시간 실시할 때 도움을 받는다.

장시간 운동시 피로방지를 위한 최적의 당질 섭취 방안에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 당질 섭취시기, 종류, 섭취량 등과 같은 다양한 변인들이 연구되어 왔고 최대 산소 섭취량 60~80% 이상의 운동강도로 1~2시간 이상 운동을 하는 경우 일반적으로 권장될 수 있는 방법은 다음과 같다.

(1) 경기를 시작하기 4시간 전의 당질 섭취량은 체중 1 kg 당 4~5 g이 적당하다. 체중 60 kg이라면 240~300 g으로 1,200 kcal의 실제적인 식사에 해당한다.

(2) 운동 시작 직전인 10분 이내의 당질 섭취시 40~50%의 당질용액 형태로 50~60 g 당질을 공급한다. 100 ml의 물에 당질(또는 포도당 중합체) 50~60 g (10 스푼 정도)을

취어 이용한다.

(3) 운동하는 동안 30분마다 약 24 g의 당질을 보충시켜야 하며 이는 5%의 당질이 들어 있는 음료를 15분마다 1컵씩(200~250 ml) 마시면 된다.

(4) 운동 후 15~30분 이내에 50~100 g의 당질(200~400 kcal)을 섭취하고, 매 2~4시간마다 100 g의 당질을 더 섭취하도록 권장한다. 당질 섭취시 단백질이 함께 공급되면 인슐린 상승효과를 가져와서 근육 글리코겐 합성에 훨씬 유리하다.

(5) 지구력을 요구하는 90분 이상의 운동종목은 글리코겐 부가법이 유리하다. 시합하기 6일 전부터 3일 전까지는 훈련시의 식사법을 따르고 시합하기 3일 전부터 전체 에너지 섭취의 70%가 당질인 식사를 하면 글리코겐 합성이 증가된다.

3. 근육형성과 단백질 영양

근육의 형성은 근육 단백질 합성과 단백질 분해 사이의 관계이다. 근육 비대(hypertrophy)는 총 단백질 합성이 일어난 때 즉 근육 단백질 합성이 분해를 초과할 때만 가능하다. 운동을 하면 근육 성장을 조래하는 근육 단백질 대사에 영향을 미치지만 식사로부터 영양소를 공급하지 않고 운동만 하면 총 단백질 합성을 자극하지는 않는다. 저항성 훈련을 하는 주요 목적 중의 하나는 근육량을 증가시키는 것이다(Kraemer 1994). 지속적으로 저항성 훈련을 하면 1달에 0~1 kg 정도의 체지방이 증가한다(Forbes 1991; Wilmore 1974). 저항성 운동을 하는 동안 체지방량의 증가는 개인에 따라 다양하다. 즉 어떤 선수들은 체지방량이 증가하는 반면 어떤 선수들은 거의 변화가 없다(Forbes 1991; Wilmore 1974). 이런 이유로 운동선수와 코우치들은 영양 보충제나 약제 등을 이용하여 체지방량을 증가시키는 방법을 찾는다(Fried 1994).

아나볼릭 안드로제닉 호르몬(anabolic-androgenic steroids)과 성장 호르몬 같은 약제들이 근육을 성장시키는 것이 분명하지만(Forbes 1985; Forbes 1992), 의학적, 윤리적 그리고 합법적인 문제가 있다(ACSM 1987). 그러므로 운동선수들은 근육을 성장시키기 위하여 영양적인 전략에 더 의존하게 된다. 이런 결과가 근육을 증가시키는 목적으로 만들어진 영양 보충제에 대한 연구와 판매를 증가시킨다. 저항성 운동을 하면서 식사처방을 하고 어떤 특정 영양소를 보충하면 근육을 증가시킬 수 있다는 증거가 있지만 운동선수들에게 판매되는 많은 영양소들은 그들이 주장하는 효과를 지지해 줄 만한 과학적인 증거는 부족하다. 저항성 운동시 근육을 증가시킨다는 식사 보충제의 효과와

이론적 근거를 알아보고 운동선수에게 권장할 수 있는 영양적인 배경에 대해 알아보려고 한다.

1) 근육조직을 증가시키기 위한 식사

(1) 과식(Overfeeding)

체중을 증가시키고 근육을 성장시키기 위한 가장 일반적인 방법으로 이용하는 방법은 더 많이 먹는 것이다(Forbes 1985; Forbes 1991). 일반적으로 식사를 더 많이 하고 당질이 풍부한 간식을 하고 고칼로리 당질-단백질 체중 보충제를 섭취하여 하루에 500~2000 kcal를 증가시킨다. 이런 방법이 체중을 증가시키기 위한 효과적인 전략으로 보이지만 이때 증가되는 체중의 30~40%만이 체지방 조직이다(Forbes 등 1986; Welle 등 1989).

과식을 하면 체중은 증가하지만 증가된 체중의 대부분은 운동선수가 변화시키고 싶어하는 바람직한 체구성분인 근육이 아니라 지방이다(Forbes 1986). 그럼에도 불구하고 저항성 운동을 하는 선수들은 근육을 증가시키는데 이 방법을 이용한다. 그리고 나서 얻어진 원하지 않는 체지방을 줄이기 위하여 다이어트를 한다. 다이어트를 하면 감소하는 체중의 50%는 체지방 조직이다(Forbes 1991). 운동선수가 심한 저체중이 아니라면 그리고 체중을 증가하는 것만이 운동 수행력을 증가시키는 방법이 아니라면 이 방법이 운동 선수에게 권장되어서는 안된다.

(2) 운동 전·후 영양

운동선수들이 근육을 증가시키기 위하여 사용하는 영양적인 전략은 운동 전·후에 당질 또는 당질과 단백질을 섭취하는 것이다. 운동 전에 당질-단백질을 섭취하면 운동할 때 인슐린 농도를 증가시킴으로서 이화작용을 감소시킨다(Carli 등 1992; Cade 등 1992). 운동 후 당질 또는 당질-단백질을 섭취하면 회복을 빠르게 하고(Cade 등 1992), 동화작용 호르몬을 증가시키고(Chandler 등 1994), 근원 섬유 단백질의 분해와 소변으로의 질소 배설을 감소시키고(Roy 등 1997), 글리코겐의 재합성을 증가시킨다(Zawadzki 등 1992; Tarnopolsky 등 1997).

표준화된 저항성 운동을 하고 난 후 당질과 단백질 보충제가 호르몬 양상에 미치는 영향을 조사했다(Chandler 등 1994). 대상자들은 물 또는 당질(1.5 g/kg), 단백질(1.38 g/kg) 또는 당질과 단백질(1.06 g/kg 당질, 0.41 g/kg 단백질)을 운동 후 즉시 그리고 운동하고 2시간 지난 후에 섭취하였다. 당질과 당질-단백질 섭취시 인슐린이 증가되었고 특히 운동 후에 당질·단백질을 섭취했을 때 인슐린은 약간 증가되었고 성장 호르몬 농도가 유의적으로 증가되었다. 저항

성 운동을 하고 난 후 당질과 단백질을 섭취하면 근육을 성장시키는데 좋은 호르몬 환경을 만들어 준다는 것을 의미한다.

수영 선수(남·녀 각각 20명)들은 규칙적인 훈련시 식사를 유지하는 반면 5가지 방법으로 보충제를 섭취하였다(Cade 등 1992). 운동하는 동안 물이나 당-전해질 용액을 섭취하거나 관계없이 운동 후에 당-단백질 공급(설탕 80 g + 우유 단백 15 g)을 받은 군에서 creatine kinase 농도는 더 낮았다. 더구나 creatine kinase 농도는 8시간 동안 당질만 공급받는 군보다 운동(3시간) 후에 당-단백질을 받은 군에서 더 빨리 기본농도에 도달하였다. 이것은 운동 후 당과 단백질을 섭취하면 강한 훈련을 하고 나서 근육 회복을 빠르게 한다는 것을 의미한다. 저항성 훈련을 한 후에 당질(운동 후 즉시 그리고 1시간 지난 후에 1 g/kg)을 섭취하고 단백질 대사에 미치는 영향을 조사하였다(Roy 등 1997). 대상자들은 회복하는 동안 당질을 섭취하고 다시 unilateral knee extension exercise의 1RM의 85%에서 10회 반복을 8세트 수행하였다. 당질을 보충한 군은 위약군보다 처음 1시간 동안은 혈당 농도가 증가하고 회복시 2시간 동안은 인슐린 농도가 유의적으로 증가되었다. 더구나 당질 보충군에서 근육 단백질 합성률은 운동하지 않은 다리와 비교해서 운동시에 유의적이지 않지만 36% 더 높았다. 저항성 운동 후 당질 보충은 근원섬유 단백질 분해와 소변의 질소 배설량을 감소시켜 양의 질소균형을 초래할 수 있다.

운동 전·후에 당질과 단백질을 섭취하면 달리기를 하는 동안 이화작용을 줄이며(Carli 등 1992), 수영 훈련을 하고 나서 회복을 빠르게 하고(Cade 등 1992) 저항성 운동 후에 성장 호르몬 분비를 약간 증가시키고(Chandler 등 1994) 지구력과 저항성 훈련 후에 글리코겐 재합성을 증가시킨다(Zawadzki 등 1992; Tarnopolsky 등 1997). 훈련하는 동안 이런 영양적인 전략들을 따르면 체지방량이 더 많이 증가될 수 있을 것으로 보인다. 그러나 운동선수들에게 이런 영양적인 전략을 권장하기 위한 과학적인 근거들이 있지만 장시간 훈련하는 동안 이런 방법들이 평가된 적이 없다. 앞으로 식사 시기와 식사 구성분이 저항성 운동 후의 호르몬의 반응과 체구성분에 미치는 영향을 더 조사해야 한다.

2) 근조직 증대에 영향을 미치는 영양소

(1) 단백질

저항성 운동을 하는 선수들은 근육성장을 증가시키기 위한 식사에 단백질이 많아야 한다고 생각한다. 강도 높은 훈련을 하는 운동 선수(하루 1.3~2 g/kg)들은 비운동 선수

(하루 0.8~1.0 g/kg)보다 단백질 필요량이 더 많지만 에너지 균형을 유지할 만큼 식사를 하면 권장량에 도달한다(Lemon 등 1992; Tarnopolsky 등 1992). 더욱이 질소균형을 유지하는데 필요한 양 이상의 단백질을 식사로부터 섭취해도 근육조직을 증대시키는 것으로 보이지 않는다(Lemon 등 1992; Tarnopolsky 등 1992).

훈련받지 않은 남자와 훈련받은 남자를 이중 맹검법(a randomized, double-blind cross-over study)을 이용하여 식이 단백질 섭취가 힘과 체구성분에 미치는 영향을 조사하였다(Tarnopolsky 등 1992). 6명의 비운동선수와 7명의 저항성 운동선수는 8일간의 세척(washout) 기간을 지나서 하루에 0.86, 1.4, 2.4 g/kg의 단백질을 13일간 섭취하였다. 저항성 운동을 하는 운동선수들의 하루 단백질 요구량은 하루에 1.4 g/kg으로 일반인보다 더 많지만 단백질 섭취량을 2.4 g/kg으로 증가한 두 그룹에서 체지방량 변화는 없었다. 결국 저항성 운동을 하는 선수들은 질소균형을 유지하는데 필요한 단백질 이상을 섭취해도 근육성장을 증가시키지는 않는다는 것을 의미한다.

Lemon 등(1992)도 초보 보디빌더들에게 단백질을 보충하여 체구성과 힘(strength)의 변화가 있는지를 조사하였다. 반복측정을 했을 때 12명의 보디빌더들은 하루에 3,500 kcal 식사를 하면서 하루에 1.35 또는 2.62 g/kg의 단백질을 섭취하였다. 4주일간 훈련받은 참석자들은 7일간 세척(washout) 기간을 지나서 단백질의 양을 변화시킨 실험을 반복하였다. 체질량, 근육량, 힘(strength)의 증가에서 군간에 유의적인 차이는 없었다.

훈련하는 동안 양의 질소 균형을 유지하는데 충분한 단백질(1.3~2 g/kg/day)을 섭취하는 것은 중요하고 저항성 운동 후에 당질과 단백질 섭취시 아나볼릭 호르몬 양상을 증가시킨다. 그러나 추가적으로 단백질을 섭취하는 것이 근육성장을 증가시키지는 못한다. 더욱이 저항성 운동을 하는 대부분의 선수들은 단백질 필요량을 충족시킬 만큼의 충분한 단백질을 섭취하고 있다.

(2) 글루타민(Glutamine), 결사슬 아미노산(Branched-Chain Amino Acids: BCAA)

글루타민은 체중증가 보충제로서 운동선수에게 많이 팔린다. 글루타민은 근육성장을 증가시키고 운동에 의해 면역기능이 억제되는 것을 감소시키는 아미노산이다. 이는 글루타민이 단백질 합성(Rennie 등 1994; Rennie 등 1996), 세포 부피(Low 등 1996) 그리고 글리코겐 합성(Varnier 등 1995)에 미치는 영향을 조사한 연구에 기초를 두고 있다. 강도 높은 운동을 하면 글루타민 농도가 감소되고 이는

과훈련된 선수들의 면역기능이 억제되는 것을 감소시킨다는 것을 의미한다(Parry-Billings 등 1992; Kargotish 등 1996). 글루타민은 세포 부피와 삼투압을 증가시켜서(Low 등 1996) 단백질 합성에 영향을 미치는 중요한 대사 영양소인 것으로 보인다. 글루타민의 이용성은 림프구가 기능에 직접적으로 영향을 미친다(Parry-Billings 등 1992; Kargotish 등 1996). BCAA (4~16 g)와 글루타민(4~12 g)을 보충하면 글루타민 농도가 증가되는 것으로 보인다(Kreider 등 1993). 글루타민 보충시 근육 성장을 증가시키고 호흡기 감염을 막을 수 있다는 연구결과는 많다. 그러나 저항성 운동시 글루타민 보충이 단백질 합성, 체구성분(Low 등 1996) 그리고 호흡기 감염에 미치는 영향에 대한 연구는 더욱 시행되어야 한다.

운동할 때 BCAA를 보충하면 단백질 분해와 혈장 근육 효소 분비를 감소시킨다(Bloomstrand 등 1991; Kreider 등 1992). 이론적으로 강도 높은 훈련시 BCAA를 공급하면 단백질 분해를 감소시키고 체지방 조직을 더 많이 증가시킬 수도 있다(Kreider 등 1992). 당질-단백질 용액에 10 g의 BCAA를 첨가하면 BCAA 없이 당-단백질 보충제만을 섭취한 것과 비교해서 강도 높은 달리기를 하는 경우 더 이상불리한 반응을 가져온다(Carli 등 1992). 최대 산소 섭취량의 70%로 지구력 사이클을 하는데 2시간 하기 전에 BCAA 보충제(14일간 하루에 12 g)를 먹었을 때 운동 후 creatine kinase와 lactate dehydrogenase (LDH) 효소의 유출이 유의적으로 감소되었다(Coombes 등 1995). BCAA 보충은 운동으로 인한 근육손상을 감소시킨다. 칼로리를 제한하는 레슬링 선수가 19일간 BCAA 보충제를 먹었을 때 저칼로리, 저칼로리-저단백, 저칼로리-고단백 식사: 한 선수와 비교해서 체지방은 더 크게 유지된 반면 체지방의 비율은 더 크게 감소되었다(Mourier 등 1997). 25일간 수영훈련을 하면서 당질과 BCAA를 보충하면 당질만 보충했을 때보다 체지방은 증가하고 체지방은 감소되었다(Kreider 등 1992).

이런 연구결과들은 BCAA 보충이 단백질 분해와 근육량에 영향을 미친다는 것을 지지해 주지만 이런 연구들은 저항성 훈련시 체구성분의 변화에 어떤 영향을 미치는지는 평가되지 않았다. 결론적으로 저항성 운동 전·후에 BCAA 보충이 근육성장을 증가시키는지 알아보기 위한 연구가 더 필요하다.

(3) 크레아틴(Creatine)

크레아틴과 크레아틴을 포함하고 있는 식이 보충제는 체력과 체지방 조직을 증가시키려는 저항성 훈련을 한 선수들

에 의해 이용되는 가장 일반적인 영양 전략이다(Kreider 등 1995). 이런 근거는 크레아틴 보충시(4~7일간 20~25 g/day 그리고 나서 2~25 g/day) 총 체질량(Kreider 등 1998), 체지방량(Kreider 등 1992; Lemon 등 1995), 1회 또는 반복되는 단거리 파워(Bocque 등 1997; Earnst 등 1995)가 증가된다고 보고되었다. 체질량이 증가한 것은 물 보유(Balsom 등 1995), 단백질 합성(Becque 등 1997) 그리고 체력과 체지방량을 증가시키도록 자극하는(Kreider 등 1992) 크레아틴 때문이다. 크레아틴 보충과 크레아틴을 포함한 영양적인 처방 후에 총 체질량과 체지방이 증가하는 것은 보충 기간과 양에 따라 다르며 비교군 참석자보다 0.8~3 kg 더 크다.

저항성 운동을 하면서 28일간 크레아틴을 하루에 20 g씩 보충했더니 총 체질량이 1.7 kg 증가되었고 총 체질량의 1.5 kg이 체지방량이었다(Earnst 등 1995). 저항성 운동시 크레아틴(4일간 20 g/day, 그후 66일간 하루에 5 g씩)을 복용한 여자는 위약군과 비교해서 체지방량이 유의적으로 더 많이 증가되었다(Vandenburghe 등 1997). 증가된 체지방은 훈련은 하지 않고 크레아틴을 하루에 5 g씩 계속 보충하면 70일간 유지되었다.

저항성 운동을 4~5주간 하는 동안 크레아틴(15~25 g/day)을 보충했을 때 체지방량의 증가는 당질, 당-단백질, 고열량-당-단백질을 보충한 참석자들에게서 조사된 것보다 1~2배(1.1~2.3 kg) 더 증가되었다(Kreider 등 1998). 이런 연구에서 관찰된 체지방량의 증가가 크레아틴 처방시 포함된 다른 영양소의 상승작용에 의한 것인지는 더 연구되어야 한다.

3) 실제적인 지침

저항성 운동시 체지방 조직을 증대하기 위한 영양적인 전략은 다음과 같다. 과식, 운동에 의해 일어난 이화작용(catabolism)을 막기 위한 저항성 운동 전의 당-단백질 섭취, 보다 이상불리한 호르몬 양상을 만들기 위한 저항성 운동 후의 당-단백질 섭취 그리고 근육성장을 도와주는 여러 가지 영양소가 포함된 영양 보충제 등이다.

(1) 일일 500~2000 kcal를 초과 섭취하여 근육량을 증가시키는 것이 효과적인 수단인 것으로 보고되었다. 그러나 증가된 양의 30~40%만이 체지방량이다. 저항성 운동시 근조직은 증가시키는데 효과적인 전략으로 보이지는 않는다.

(2) 당-단백질(5~10 g 단백질과 30~50 g 당질)을 운동 전에 섭취하면 운동에 의해 이화작용을 감소시킨다. 저항성 운동 후 2시간 내에 당-단백질 식사 또는 영양성분(15~40 g 단백질과 80~120 g의 당질)을 공급하면 더

아나볼릭한 호르몬 양상으로 되고 글리코겐 재합성이 증대된다. 이런 전략 후에 저항성 운동을 하는 동안 근육 성장에 어떤 영향을 미치는지는 더 연구되어야 한다.

(3) 저항성 훈련을 할 때 단백질(72 g/kg/day)을 추가 보충해도 근육 성장에 영향을 미치지 않는다.

(4) 글루타민, 결사슬 아미노산 등의 보충이 단백질 합성, 호르몬 양상과 채구성분 변화에 미치는 영향은 더 연구되어야 한다.

(5) 크레아틴을 보충하는 것(4~6일간 20~25 g/day, 그후 14일까지 2~25 g/day)과 크레아틴의 특별한 영양적인 처방(28~84일간 10~25 g/day)을 하면 훈련받은 선수에게서 저항성 운동 중에 제지방량이 유의적으로 증가한다. 크레아틴 보충시 역효과는 없지만 장기적인 복용시 안정성에 대한 연구가 있어야 한다.

(6) 식이 보충제의 이론적 근거, 효능 그리고 잠재적인 역효과에 대한 것 뿐 아니라 영양밀도가 있고 에너지 균형을 이루는 균형적인 식사의 중요성을 저항성 운동을 하는 선수들에게 교육해야 한다.

참 고 문 헌

- 김성수 · 정일규(1995) : 운동생리학. 대경
- Ahlborg B, Bergstrom J, Brohult J, Ekelund LG, Masehio G (1967): Human muscle glycogen content and capacity for prolonged exercise after different diets. *Forsvarsmedicin* 3: 85
- Alberici JC, Farrell PA, Kris-Etherton PM, Shively CA (1993): Effects of preexercise candy bar ingestion on glycemic response, substrate utilization and performance. *Inter J Sport Nutr* pp.323-332
- American College of Sports Medicine (1987): Position stand on the use of anabolic- androgenic steroids in sport. *Med Sci Sport Exerc* 19: 534-539
- Balsom P, S derlund K, Sj din B (1995): Skeletal muscle metabolism during short duration high-intensity exercise: influence of creatine supplementation. *Acta Physiol Scand* 1154: 303-310
- Becque B, Lochmann J, Melrose D (1997): Effect of creatine supplementation during strength training on 1 RM and body composition 「abstract」. *Med Sci Sport Exerc* 29: S146
- Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B (1967): Diet, muscle glycogen, and physical performance. *Acta Physiol* 71: 140
- Bergstrom J, Hultman E (1966): Muscle glycogen synthesis after exercise: an enhancing factor localised to the muscle cell in man. *Nature* 210: 309
- Bergstrom J, Hultman E (1967): Synthesis of muscle glycogen in man after glucose and fructose infusion. *Acta Medica Scandinavica* 182: 93-107
- Blom PCS, Hostmark AT, Vagge O, Kardel KR (1987): Effect of different post-exercise sugar diet on rate of muscle glycogen synthesis. *Med Sci Sports Exerc* 19: 491
- Bloomstrand E, Hassmen P, Ekblom B (1991): Administration of branched chain amino acids during sustained exercise-effects on performance and on plasma concentration of some amino acids. *Eur J Appl Physiol* 63: 83-88
- Boje O (1936): Der Blutzucker Washrend und nach Korperlicher Arbeit. *Scandinavian Archives of Physiology* 74 (suppl 10): 1
- Cade JR, Reese RH, Privette RM (1992): Dietary intervention and training in swimmers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 63: 210-215
- Carli G, Bonifazi M, Lodi L (1992): Changes in exercise-induced hormone response to branched chain amino acid administration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 64: 272-277
- Chandler RM, Byrne HK, Pauerson JG (1994): Dietary supplements affect the anabolic hormones after weight-training exercise. *J Appl Physiol* 76: 839-845
- Christensen EH, Hansen O (1939): IV, Hypoglykamie, Arbeitsfahigkeit und Verdauung. *Scandinavian Archives of Physiology* 81: 172
- Clark N (1990): Nancy Clark's Sports Nutrition Guidebook: Eating to Fuel Your Active Lifestyle. Leisure Press, Champaign, IL
- Coggan AR, Coyle EF (1987): Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *J Appl Physiol* 63: 2388-2395
- Coggan AR, Coyle EF (1987): Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *J Appl Physiol* 63: 2388
- Coggan AR, Coyle EF (1989): Metabolism and performance following carbohydrate ingestion late in exercise. *Med Sci Sports Exerc* 21: 59
- Coggan AR, Swanson S (1992): Nutritional manipulations before and during endurance exercise: Effects on performance. *Med Sci Sports Exerc* 24 (No. 9 Suppl): S331-S335
- Cole KJ, Grandjean PW, Sobszak RJ, Mitchell JB (1993): Effect of carbohydrate composition on fluid balance, gastric emptying, and exercise performance. *Inter J Sports Nutr* 3: 408-417
- Coleman E (1991): Carbohydrates: the master fuel, in Sports Nutrition for the 90s, Berning JR and Steen SN, Eds, Aspen Publishers, Inc. Caithersburg, MD, Chap 3
- Coleman E (1994): Update on carbohydrate: Solid versus liquid. *Inter J Sports Nutr* 4: 80
- Conlee RK, Hickson RC, Winder WW, Hagberg JM, Holloszy JO (1978): Regulation of glycogen resynthesis in muscle of rats following exercise. *Am J Physiol* 235: R145
- Coombs J, McNaughton L (1995): The effects of branched chain amino acid supplementation on indicators of muscle damage after prolonged strenuous exercise 「abstract」. *Med Sci Sports Exerc* 27: S149
- Costill DL (1985): Carbohydrate nutrition before, during, and after exercise. *Fed Proc* 44: 364
- Costill DL, Bowers R, Branam G, Sparks K (1971): Muscle glycogen utilization during prolonged exercise on successive days. *J Appl Physiol* 31: 834-838
- Costill DL, Coyle E, Dalsky G, Evans W, Fink W, Hoopes D (1977): Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J Appl Physiol* 43: 695
- Costill DL, Hargreaves M (1992): Carbohydrate nutrition and fatigue. *Sports Med* 13: 86
- Costill DL, Miller JM (1980): Nutrition for endurance sport: Carbohydrate and fluid balance. *Int J Sports Med* 1: 2-14
- Costill DL, Saltin B (1974): Factors limiting gastric emptying during rest and exercise. *J Appl Physiol* 37(5): 679

- Costill DL, Sherman WM, Fink WJ, Maresch C, Witten M (1981): The role of dietary carbohydrate in muscle glycogen resynthesis after strenuous running. *Am J Clin Nutr* 34: 1831-1836
- Costill, D (1988): Carbohydrates for exercise: Dietary demands for optimal performance. *Inter J Sports Med* 9: 1-18
- Coyle EF (1995): Substrate utilization during exercise in active people. *Am J Clin Nutr* 61 (Suppl): 968S
- Coyle EF, Coggan AR (1984): Effectiveness of carbohydrate feeding in delaying fatigue during prolonged exercise. *Sports Med* 1: 446
- Coyle EF, Haberg JM, Hurley BF, Martin WH, Ehsani AA (1983): Carbohydrate feeding during prolonged exercise can delay fatigue. *J Appl Physiol* 55: 230
- Coyle, E (1991): Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery. *J Sport Sci* 9: 29-52
- Coyle, E (1992): Carbohydrate supplementation during exercise. *J Nutri* 1:2: 788-795
- Coyle, E, Coyle, E (1993): Carbohydrates that speed recovery from training. *Physic Sportsmed* 21 (Feb): 111-123
- Davis, JM (1996): Carbohydrates, branched-chain amino acids and endurance: The central fatigue hypothesis. *Sports Sci Exchange* 9(2): 1-6
- Denster PA, Singh A, Hofmann A, Moses FM, Chronos GC (1992): Hormonal responses to ingesting water or a carbohydrate beverage during a 2h run. *Med Sci Sports Exerc* 24: 72
- Devlin JF, Calles-Escanton J, Horton ES (1986): Effects of pre-exercise snack feeding on endurance cycle exercise. *J Apply Physiol* 60: 980
- Earnest C, Snell P, Rodriguez R (1995): The effect of creatine monohydrate ingestion on anaerobic power indices, muscular strength and body composition. *Acta Physiol Scand* 153: 207-209
- Fother GB (1985): The effect of anabolic steroids on lean body mass: the dose response curve. *Metabol* 34: 571-573
- Fother GB (1991): Exercise and body composition. *J Appl Physiol* 70: 994-997
- Fother GB (1992): Sequence of changes in body composition induced by testosterone and reversal of changes after drug is stopped. *JAMA* 267: 397-399
- Fother GB, Brown MR, Welle SL (1986): Deliberate overfeeding in women and men: Energy cost and composition of weight gain. *Br J Nutr* 56: 1-9
- Foster C, Costill DL, Fink WJ (1980): Gastric emptying characteristics of glucose and glucose polymers. *Res Quarterly* 51: 299
- Friedl KI (1994): Performance-enhancing substances: Effects, risks and appropriate alternative. In: Baeche T Eds, *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign (IL): Human Kinetics, pp.188-209
- Hargreaves M, McConell G, Proietta J (1995): Influence of muscle glycogen on glycogenolysis and glucose uptake during exercise in humans. *J Appl Physiol* 78: 228-292
- Hargreaves, M (1996): Carbohydrates and exercise performance. *Nutri Reviews* 4: S136-S139
- Heoelzer DR, Dalsky GP, Clutter WE, Shah SD, Schwartz NS, Holloszy JO (1986): Glucoregulation during exercise: hypoglycemia is prevented by redundant glucoregulating system, sympathochromatin activation, and changes in islet hormone secretion. *J Llim Invest* 77: 212
- Hoffman JE (1990): Utilization of fatty acids during exercise, in *Biochemistry of Exercise VII*. Taylor AW, Gollnick PD and Green HJ Human Kinetics Pull. Champaign, IL, p.319
- Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF (1988): Muscle glycogen synthesis after exercise: Effect of time of carbohydrate ingestion. *Am Physiol Society* 64: 1480-1485
- Ivy JL, Lee MC, Brozinick Jr JT (1988): Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* 65(5): 2018-2023
- Jeukendrup, A (1997): *Aspects of Carbohydrate and fat metabolism during exercise*. Haarlem, Netherlands: De Vrieseborch
- Kargotich S, Rowbottom DG, Keast D (1996): Plasma glutamine changes after high intensity exercise in elite male swimmers 「abstract」 *Med Sci Sport Exerc* 28: S133
- Keller K, Schwarzkopf R (1984): Preexercise snacks may decrease exercise performance. *Phys Sports Med* 12: 89
- Kraemer WJ (1974): General adaptations to resistance and endurance training. In: Baeche T, editor. *Essentials of strength training and conditioning*. Champaign (IL): Human Kinetics, pp.27-150
- Kreider R, Ferreira M, Wilson M (1998): Effects of creatine supplementation on body composition, strength and sprint performance. *Med Sci Sport Exerc* 30: 73-82
- Kreider RB, Dawn H, Greg H, Michael D, Sarah S, Beth A (1995): Effects of carbohydrate supplementation during intense training on dietary patterns, psychological status, and performance. *Inter J Sport Nutr* 5: 125-135
- Kreider RB, Miller GW, Mitchell M (1992): Effects of amino acid supplementation on ultraendurance triathlon performance. *Proceedings of the World Congress on Sport Nutrition Jun 16-18: Barcelona*. Barcelona: Enero, pp.488-536
- Kreider RB, Miriel V, Bertun E (1993): Effects of amino acid and carnitine supplementation on markers of protein catabolism and body composition during 25 weeks of swim training 「abstract」. *South-east American College of Sports Medicine Conference Abstracts Jan 29. Am College Sports Med* 20: 45
- Kreider RB, Miriel V, Berun E (1993): Amino acid supplementation and exercise performance; proposed ergogenic value. *Sports Med* 16: 190-209
- Lemen PW, Tamopolsky MA, MacDougall JD (1992): Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J Appl Physiol* 73: 767-775
- Lemon P, Boska M, Bredle DL (1995): Effect of oral creatine supplementation on energetic during repeated maximal muscle contraction 「abstract」. *Med Sci Sport Exerc* 27: S204
- Levine SA, Gordon B, Derick CL (1924): Some changes in the chemical constituents of the blood following a marathon race. *JAMA* 82: 1778
- Low SY, Taylor PM, Rennie MJ (1996): Responses of glutamine transport in cultured rat skeletal muscle to osmotically induced changes in cell volume. *J Physiol (Lond)* 492(Pt 3): 877-885
- Martin WH III, Dalsky GP, Hurley BF, Matthews DE, Bier DM, Hargberg JM, Rogers MA, King DS, Holloszy JO (1993): Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise. *Am J Physiol* 265: E708-E714
- Massicote D, Peronnet F, Brisson G, Bakkouch K, Hillaire-marcel C

- (1989): Oxidation of a glucose polymer during exercise: Comparison with glucose and fructose. *J Appl Physiol* 66: 179
- McArdle WD, Katch FI, Katch VI (1991): Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance, Lea & Febiger, Philadelphia, Chap 23
- McArdle WD, Katch FI, Katch VL (1999): Sports & Exercise Nutrition, Lippincott Williams & Wilkins
- Minami H, McCallum RW (1984): The physiology and pathophysiology of gastric emptying in humans. *Gastroenterology* 86: 1592
- Mitchell JB, Voss KW (1990): The influence of volume of fluid ingested on gastric emptying and body fluid balance. *Med Sci Sports Exerc* 22(Suppl): S90
- Mourier A, Bigard AX, de Kerviler E (1997): Combined effects of caloric restriction and branched-chain amino acid supplementation on body composition and exercise performance in elite wrestlers. *Int J Sports Med* 18: 47-55
- Murray R, Paul RG, Seifert G, Eddy DE, Halaby GA (1989): The effect of glucose, fructose and sucrose ingestion during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 21(3): 275-282
- Neufer PD, Costill DL, Flynn MG, Kirwan JP, Mitchell JB, Houmard J (1987): Improvements in exercise performance: effects of carbohydrate feeding and diet. *J Appl Physiol* 62: 983
- Parry-Billings M, Budgett R, Koutedakis K (1992): Plasma amino acid concentrations in the overtraining syndrome: possible effects on the immune system. *Med Sci Sport Exerc* 24: 1353-1358
- Rennie MJ (1996): Glutamine metabolism and transport in skeletal muscle and heart and their clinical relevance. *J Nutr* 126(4 Suppl): 1142S-1149S
- Rennie MJ, Tadros L, Khogali S (1994): Glutamine transport and its metabolic effects. *J Nutr* 124(8 Suppl): 1503S-1508S
- Richter EA, Ruderman NB, Schneider SH (1981): Diabetes and exercise. *Am J Med* 70: 201-209
- Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, Wolfe RR (1993): Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 265: E380-E391
- Roy BD, Tamopolsky MA, MacDougall JD (1997): Effect of glucose supplementation timing on protein metabolism after resistance training. *J Appl Physiol* 82: 1882-1888
- Sherman WN (1993): Dietary Carbohydrate, muscle glycogen and exercise performance during 7d of training. *Am J Clin Nutr* 57: 27-31
- Sherman WN, Brodowicz G, Wright DA, Allen WK, Simonsen J, Dermbach A (1989): Effects of 4 hour preexercise carbohydrate feedings on cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 12: 598-604
- Sherman WN, Wimer (1991): Insufficient dietary carbohydrate during training: Does it impair athletic performance? *Inter J Sports Nutr* 1: 28-44
- Sherman WN, Costill DL, Fink WJ, Miller JM (1981): The effect of exercise and diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. *Inter J Sports Med* 2: 114-118
- Sole CC, Noakes TD (1989): Faster gastric emptying for glucose polymer and fructose solutions than for glucose in humans. *Euro J Appl Physiol* 58: 605
- Tamopolsky MA, Alkinson SA, MacDougall JD (1992): Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol* 73: 1986-1995
- Tamopolsky MA, Bosman M, Macdonald JR (1997): Postexercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J Appl Physiol* 83: 1877-1883
- Thomas DE, Brotherhood JR, Brand JC (1991): Carbohydrate feeding before exercise: Effect of glycemic index. *Int J Sports Med* 12: 180
- Varnier M, Leese GP, Thompson J (1995): Stimulatory effect of glutamine on glycogen accumulation in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 269(2 Pt 1): E309-215
- Vandenburgh K, Goris M, Van Hecke P (1997): Long-term creatine intake is beneficial to muscle performance during resistance-training. *J Appl Physiol* 83: 2055-2063
- Welle S, Mauhews DE, Campbell RG (1989): Stimulation of protein turnover by carbohydrate overfeeding in men. *Am J Physiol* 257(3 P(1)): E413-17
- Wilmore JH (1974): Alterations in strength, body composition, and anthropometric measurements consequent to a 10 week weight training program. *Med Sci Sport Exerc* 6: 133-138
- Wolinsky I (1998): Chapter II Water and electrolytes during physical activity in nutrition in exercise and sport. 3rd ed, CRC Press
- Zawadzki KM, Yaspelkis BB, Ivy JL (1992): Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage, after exercise. *J Appl Physiol* 72: 1854-1859