

수종의 스포츠 음료를 토끼에 경구 투여한 후 수분 흡수에 대한 비교연구

김종국[†] · 이범진*

서울대학교 약학대학, *강원대학교 약학대학
(1994년 12월 25일 접수)

Comparative Study on the Absorption of Water after Oral Administration of Various Sports Drinking Beverages to Rabbits

Chong-Kook Kim[†] and Beom-Jin Lee*

College of Pharmacy, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

*College of Pharmacy, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

(Received December 25, 1994)

After oral administration of various drinking solutions, the initial absorption rate of water through gastrointestinal tract of the rabbits was evaluated using tritinated water ($^3\text{H}_2\text{O}$) as a marker to develop the sports drinking beverage for Korean people. The polynomial curve fitting over 20 min was performed using computer program to obtain the initial absorption rate of water from the tangent line of the fitted equation because initial absorption rate of water was more critical compared to elimination rate during exercise. The amount of water absorbed was increased but a large variation was observed among testing preparations in a small study group ($2 \leq n \leq 6$). The initial absorption rate of water from isotonic sports drinking beverages was statistically significant when compared to hypertonic cola but was not significant when compared to hypotonic solutions (potable water and barley water). In case of hypertonic sports drinking beverages (i.e. Takeda), initial absorption rate of water was not improved and efficient when compared to other isotonic sports drinking beverages. The initial absorption rate of water from prescribed isotonic sample solution containing electrolytes, carbohydrates, and vitamins was not statistically significant when compared to other isotonic drinking beverages but showed similar absorption profile. It was obvious that isotonic solutions simultaneously containing electrolytes, vitamins and carbohydrates (sugar and glucose) had a tendency to increase the initial absorption of water compared to hypotonic (potable water and barley water) and hypertonic preparations (orange juice and cola). Although statistical significance of initial absorption rate of water between isotonic sports drinking beverages and hypotonic potable and barley water was not observed, unlike the hypertonic solutions, isotonic sports drinking beverages may aid not only to replenish loss of water, electrolytes and other nutrients during the exercise but also to prevent dehydration and muscle fatigue, resulting in improved physical performance in an exhausted condition.

Keywords—Sports drinking solutions, Initial absorption rate of water, Polynomial curve fitting, Isotonic, Hypertonic, Hypotonic

마라톤, 사이클, 축구, 농구, 핸드볼과 같이 일정 시간 동안 휴식없이 지속적으로 격렬한 운동을 하면서 체력을 소모하는 선수의 경우 경기도중 체열이

축적되며 심한 발한으로 체액의 소실이 일어난다. 경기도중 과도한 탈수 현상과 아울러 전해질의 소실이 많이 일어나면 심한 갈증, 근무력증, 혼수 상

[†]본 논문에 대한 문의는 이 저자에게로

태에 이르게 되어 경기력이 급격히 저하된다.¹⁻³⁾ 따라서 각종 운동 경기에서 선수들이 경기에 임하였을 경우 최상의 신체적 조건을 유지하면서 최상의 경기력을 발휘하도록 하는 것이 매우 중요하다.^{4,5)}

선수들이 격렬한 운동시에 갈증과 공복감을 해소하고 필요한 양의 수분과 전해질을 선수 체내에 신속히 공급할 수 있도록 운동 생리에 근거를 둔 합리적인 선수용 스포츠 음료의 개발이 필요하다. 영국에서 축구 선수에게 서방형 소금 정제를 투여하여 효과를 얻은 경우는 이미 알려져있다.⁶⁾ 스포츠 음료는 운동시 선수들의 생리적 변화에 근거하여 수분 및 손실된 전해질의 합리적인 공급과 운동의 효율 증진, 맛, 청량감 및 에너지원등을 고려하여 체액의 조성 성분인 각종 무기 염류, 포도당 및 설탕 등의 당류외에도 비타민류 등이 함유되어 있다.^{5,7)}

스포츠 음료의 수분이나 전해질의 위장관 흡수는 여러 인자들에 의하여 좌우된다고 보고되었다.⁸⁾ 즉 삼투압, 수압 및 당의 존재 유무 외에도 막의 전기적 전하 차이나 전해질의 화학적 성질 등을 들 수 있다.⁹⁻¹³⁾ 김 과 이 등이 분리한 쥐의 장에서 시판 스포츠용 음료의 수분흡수에 대해 보고한 바 있으나, 스포츠 음료를 개발하기 위해 한국 사람의 체질과 한국의 기후 및 환경 조건에 따른 운동시의 생리적 변화등 스포츠 과학에 근거한 수분이나 전해질의 흡수에 대해 보다 폭넓게 연구 보고한 논문은 거의 없다.

본 연구에서는 운동 선수들이 경기할 때 주로 마시는 여러 음료들로 부터 물의 초기흡수속도를 비교할 목적으로 한국선수들이 선호하는 과즙음료(오렌지 주스), 탄산음료(콜라), 보리차 및 상품화된 국내의 6종의 전해질 음료들 외에 본 연구를 위해 처방설계한 2종의 스포츠 음료들에 대해서 tritinated water ($^3\text{H}_2\text{O}$)를 지표 물질로 사용하여 토끼에 경구 투여한 후, 각 음료들간의 물의 흡수 양상 및 상이점을 비교 검토하고자 하였다.

실험방법

실험재료

수분 흡수용 시험 제제로는 전해질 음료인 Sporterra®(롯데 삼강), Aquarius®(일제), Pocari Sweat®(일제), Gatorade®(미제), Suntory®(일제), Ta-

keda®(일제) 및 본 연구용으로 처방된 전해질 음료(처방시료-I, II), 과즙음료(Libbs orange juice, NESTLE FOOD Corp., USA), 탄산음료(Coca-Cola Classic, Coca-Cola Bottling Co., CA, USA), 보리차 및 상수를 측정용 음료로 선정 하였다. 보리차는 볶은 겉보리 10 g을 100 ml의 증류수에 넣고 15분간 끓인다음 여과하여 사용하였다. 한편 본 연구용 시료로 처방 설계한 스포츠 음료 시료-I의 조성 및 농도는 NaCl, KCl, MgCl₂, NaH₂PO₄, Na₂HPO₄ 등이 27.25, 10.03, 0.375, 1.734 및 0.733 mM/L 이었고 시료-II는 상기의 전해질 조성에 비타민군인 vitamin C, vitamin B₁ vitamin B₂, 및 niacin외에 에너지원으로 glucose와 sugar등이 14.21, 0.012, 0.017, 0.532, 165.9와 94.12 mM/L 인 처방이었다. 본 처방 전해질 용액인 시료-II의 당도는 6.0 Brix 이었으며 삼투압은 368.5 mOsm/l 이었다. Tritinated water ($^3\text{H}_2\text{O}$)는 Amersham International plc (Buckinghamshire, England)에서 구입하였다. 기타 본 실험에 사용한 시약은 시판 특급시약 및 약전품(대한약전 4개정)을 사용하였다.

실험 동물

2.5 Kg 이내로 건강한 토끼(New Zealand White Rabbit)를 일정기간 사육하여 체중을 조절한 후 사용하였다. 실험 전날은 하루동안 절식한 후 사용하였다.

투여용 시료의 조제

5 mCi/ml 의 tritinated water ($^3\text{H}_2\text{O}$) 1 ml에 5 ml의 탈이온수를 가하고, 이 희석액 0.1 ml를 정확히 취하여 각 측정용 음료수 8 ml에 균일하게 혼합하여 경구투여용 시료로 사용하였다.

측정방법

조제한 경구용 시료를 토끼 체중 Kg당 3 ml씩 경구투여 한 다음 일정한 시간 간격(1, 3, 6, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 90 및 120 min)으로 혈액 약 4 ml를 심장에서 채혈 하였다. 채혈한 혈액은 시험관에 담고 나무젓개로 기벽을 저어 준 후 즉시 3,000 rpm에서 15분동안 원심분리하여 혈청을 분리하였다. 분리된 혈청 1 ml를 정확히 취한 다음 scintillation cocktail (PPO 5.5 g, POPOP 0.1 g, toluene 667 ml 및 Triton X-100 333 ml)을 10 ml 가하고 vortexing하여 잘 혼합한 다음 β -scintillation counter (Packard Instrument Inc.)로 radioactivity를 측정하였다.

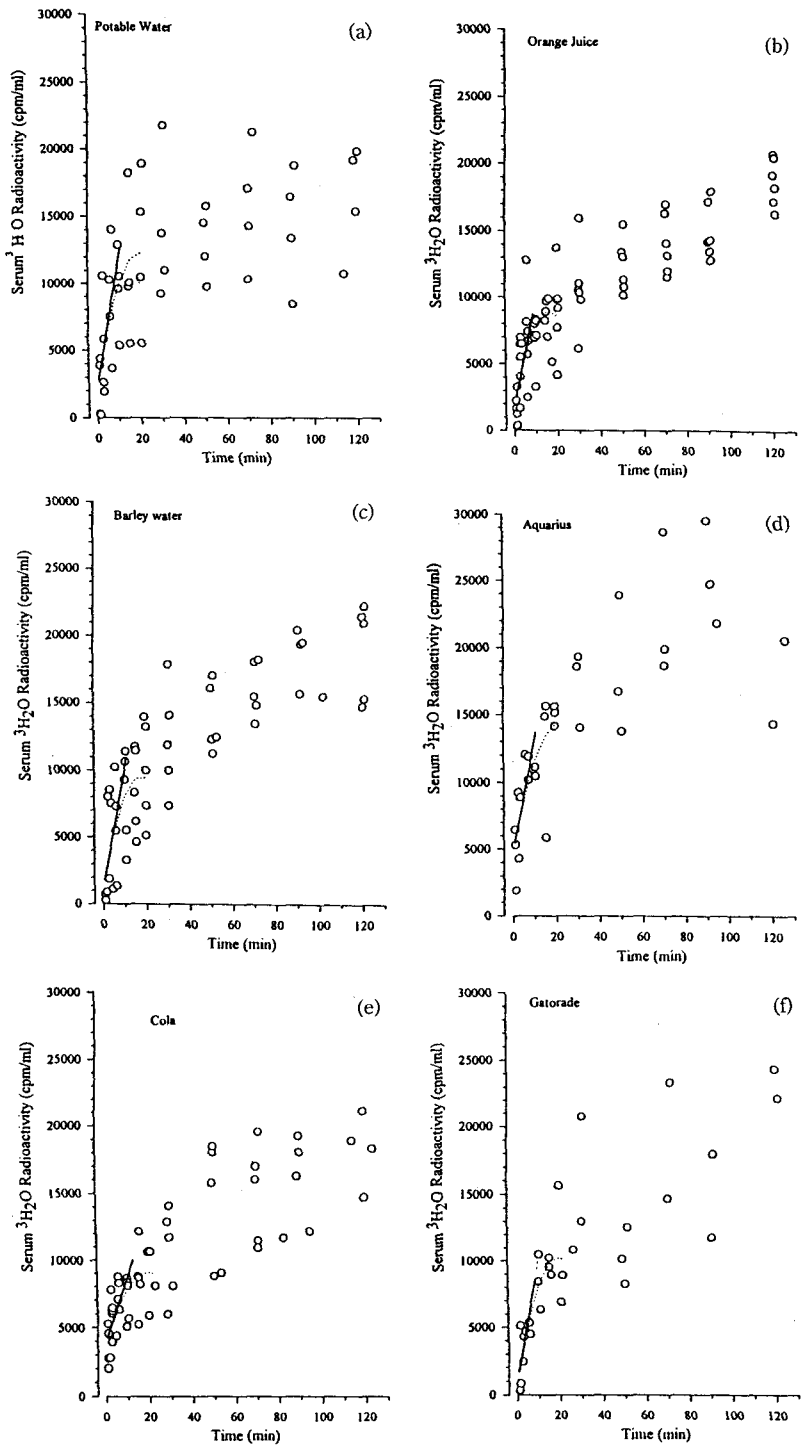


Figure 1—Profiles of water absorption after oral administration of twelve drinking solutions (a~l) to rabbits. The dotted line indicates the second order regression polynomial fitting over 20 min. The solid line indicates the tangent line of the second order polynomial fitting at time zero.

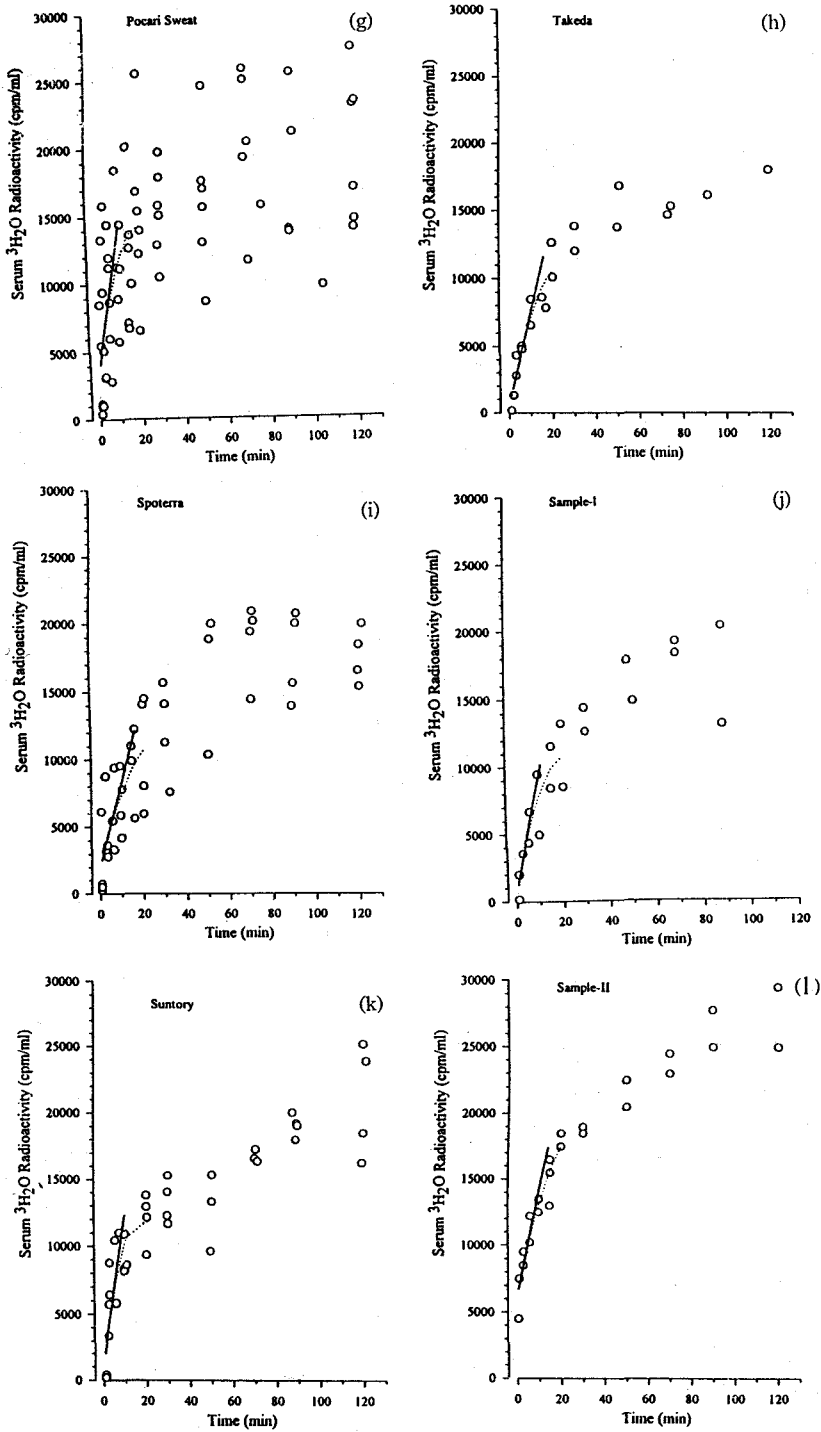


Figure 1 continued.

Table I—Comparison of Physical Properties of Various Testing Preparations

Preparations	Osmolality (mOsm)	pH	Acidity	Sugar Content (Brix)	NaCl (%)
Saline (0.9%)	308.6	5.8	-- ^a	--	None
Barley Water	1.5	7.4	--	--	None
Orange Juice	728.0	4.4	0.800	12.0	None
Cola	672.0	3.3	0.070	10.6	None
Aquarius	360.5	--	0.130	6.0	0.044
Gatorade	418.5	--	0.217	6.5	0.070
Pocari Sweat	371.1	3.5	0.232	6.0	0.116
Spoterra	380.3	3.8	0.180	6.6	0.061
Suntory	478.5	3.5	0.122	6.5	0.047
Takeda	798.3	3.0	0.262	10.0	0.665
Sample-II	368.5	--	--	6.0	--

^aNot available.

Potable water and sample-I were not determined.

컴퓨터 피팅

시간에 따른 물의 흡수 곡선은 SIGMAPLOT® (Jandel Scientific, Corte Madera, CA)를 이용하여 이차방정식으로 피팅하였다. SIGMAPLOT® 은 관측치와 의존 변수간의 차이 제곱을 최소화하기 위하여 Marquart-Levenberg algorithm을 사용한다.

통계처리

음료군들 간의 통계적 유의성 검정은 STATGRAPHIC® 프로그램을 이용하여 ANOVA (Analysis of Variance)를 수행하였고, 군들간의 유의성 검정은 Multiple Range Test 방법인 LSD (Least Significance Difference) 방법으로 하였다. 한편 유의성 검정시 p값이 5% 이하일 때 유의성이 있다고 판정하였다.

결과 및 고찰

본 실험에서 사용한 시료로는 크게 상수, 보리물, 과즙음료 (Orange juice), 탄산음료 (Cola)와 시판 전해질 음료외에 본 연구를 위해 처방 설계한 2종의 전해질 음료 (처방시료-I, II)등이 사용되었다. 수분 흡수 비교를 위해 사용한 제제들의 물리적 특성을 Table I에 나타내었다. 시료들의 물리적 특성으로

Table II—Initial Absorption Rate of Water after Oral Administration of Various Testing Preparations to Rabbits

Preparations	n ^a	Initial Absorption rate (cpm/ml/min)
Potable Water	3	952 ± 252 ^b
Barley Water	4	818 ± 310
Cola	5	536 ± 256
Orange juice	5	843 ± 234
Aquarius	3	1125 ± 457*
Gatorade	2	1169 ± 5.6*
Pocari sweat	6	1136 ± 569*
Spoterra	2	1017 ± 56*
Suntory	3	1106 ± 199*
Takeda	2	839 ± 7.5
Sample-I	2	840 ± 150
Sample-II	2	989 ± 213

^aNumber of rabbits used

^bValues are expressed as mean ± standard deviation.

*p<0.05 by LSD compared to cola.

Data were fitted by the second order polynomial equation over 20 min. Initial absorption rate of water was obtained by plugging time zero against derivative of second order polynomial equation.

물의 장관 흡수에 영향을 주는 삼투압과 NaCl의 농도외에 맛과 신미성에 영향을 주는 pH, 산도 및 당도 (sugar content, Brix)등을 측정하였다. 예로써 0.9% 생리식염수의 경우 산도와 당도는 없으나 pH는 약산성인 5.8정도, NaCl은 0.9%이며 삼투압은 308.6 mOsm이었다 (혈청수의 지표). 한편 영양가와 맛에 주안점을 둔 과즙음료인 오렌지 주스와 이산화탄소를 포화시켜 청량감과 미각을 준 콜라는 각각 728, 672 mOsm로 혈청수에 비하여 상당히 고장액이었고 당도 또한 각각 12 및 10 Brix로 비교적 높았다. 그러나 보리차의 경우는 pH는 중성이나 1.5 mOsm로 상당히 저장액이었다. 한편 스포츠 과학에 근거하여 처방이 설계된 전해질 함유 스포츠 음료는 어느 정도의 염분이 함유되었으며 이중 다케다 제품이 타사 제품에 비하여 6~10배의 높은 염분을 함유하고 있었다. 전해질 함유 스포츠 음료의 미네랄에 기인하는 짠맛을 교정하기 위하여 상당량의 당질을 함유하고 있었다. 포도당이나 설탕 등은 맛의 교정외에도 에너지원으로서 스포츠 음료에 유용하다. 한편 다케다 제품을 제외한 스포츠 음료의 당

도는 비슷하였고 특히 삼투압은 대개 등장에 가까운 용액이었다. Fig. 1은 본 실험에서 시료로 사용한 12종의 음료들을 토끼에 경구투여 한 후 약 120분 동안 심장에서 혈액을 채취하고 수분 흡수의 지표로써 사용한 tritinated water (H_2O)의 흡수 양상을 나타낸 그림이다. 수분의 흡수는 시간이 지남에 따라 점차 증가하였으나 각 시험용 시료에 대해 군의 수 ($2 \leq n \leq 6$)도 적고 군들간의 개체 차이가 현저하였다. 물의 위장관내 흡수 과정은 보통 용질이나 약물등과는 달리 용매 자체의 위장관 투과 현상으로 농도 구배가 크지 않기 때문에 신속히 흡수되지 않는다. 그러나 스포츠용 음료는 경기시 신속한 흡수를 기대하기 때문에 스포츠 음료를 평가할때는 물의 초기흡수속도 (initial absorption rate of water)가 매우 중요한 평가 기준이라고 사료된다. 따라서 약물속도론적 관점에서 분포 후 충분한 시간이 경과한 다음 일어나는 배설보다는 적어도 20분 이내의 초기흡수 양상이 더 중요하다고 사료된다. 본 실험에서는 약 120분 동안의 혈중 수분의 흡수 곡선으로부터 약 20분 이내의 농도만 취하여 초기 흡수 양상의 분석을 위해 활용하였다. 그림에서 점선은 2차방정식 ($at^2 + bt + c$)을 사용하여 20분동안의 자료를 피팅한 그림이며 실선은 2차방정식의 점선을 시간 0에서 도식한 것으로 물의 초기흡수속도를 나타낸다. 여기서 물의 초기흡수속도란 시간이 0 일때의 물의 흡수 속도로 2차방정식을 미분하여 얻을 수 있다. 흡수 곡선을 피팅하는 모델은 log흡수, square root 및 polynomial 방법등 여러 경우로 생각해 볼 수 있으나 이차방정식에 의해서 가장 잘 피팅되었고 오차도 작았다. Table II은 각각의 음료들의 20분 동안의 흡수 곡선을 이차방정식으로 피팅한 후 흡수 곡선으로부터 여러 스포츠 음료들의 초기흡수속도를 나타낸 것이다. 전해질을 함유한 스포츠 음료들의 경우 물의 초기흡수속도가 보리차나 상수 및 탄산음료인 콜라 나 과즙음료인 오렌지 쥬스에 비하여 대체로 신속하였다. 또한 등장인 Aquarius®, Gatorade®, Spoterra®, Suntory® 및 Pocari sweat®는 고장액 스포츠 음료인 다케다 제품보다 초기흡수속도가 큼을 알 수 있었다. 한편 본 실험을 위해 전해질만을 함유하도록 처방 설계한 처방시료-I에 비하여 전해질, 비타민 및 당류를 동시에 함유한 처방시료-II의 경우 물의 흡수된 양과

초기흡수속도가 높았으나 통계적인 유의성은 고찰하지 못하였다 (Fig. 1, Table II). 또한 시판 등장용 스포츠 음료들에 비하여 본 처방 음료의 초기흡수속도의 유의성을 고찰하지 못하였으나 비슷한 흡수 양상을 나타내었다. 등장용 스포츠 음료인 Aquarius®, Gatorade®, Spoterra®, Suntory® 및 Pocari sweat®는 고장액의 탄산 음료인 콜라에 비해 초기흡수속도의 유의성 있는 증가를 보였다. 즉 등장의 전해질을 함유한 스포츠 음료가 저장액 용액이나 고장액의 탄산 음료에 비하여 물의 초기흡수속도가 크며 같은 전해질 함유 음료라도 염류의 농도가 큰 음료 (즉 다케다 제품)의 경우에는 초기흡수속도가 상당히 낮았다. 또한 고장액인 탄산 음료나 과즙 음료에 비하여 저장액인 보리차나 상수로부터의 물의 초기흡수속도가 약간 높았다. 그러나 본 실험에서 큰 개체 차이와 적은 개체수를 주지할 필요가 있다.

수분의 흡수 기전은 삼투압, 수압, 전기적 성질 및 용질의 물성등 여러 인자들에 의하여 영향을 받기 때문에 상당히 복잡하나 농도 차이 (gradient)에 의한 확산과 위장관 막 사이의 압력 차이에 의해 이동된다고 한다.⁶⁾ 그러나 스포츠 음료의 상업성을 고려해 볼 때 수분 흡수 속도외에도 맛, 청량감 및 에너지원등 다각적인 면을 고려할 필요가 있다고 생각한다. 한편 김 과 이 등은 쥐의 장관류를 통한 여러 스포츠 음료 제제들의 수분 흡수 연구에서 전해질과 적당 농도의 비타민 및 당질을 함유한 제제가 극한 운동시에 손실된 수분과 전해질의 보급에 유용하고 생체 조건에 합당하다고 보고하였다.⁷⁾ 이상의 결과로부터 전해질 및 당류를 함유한 등장용 스포츠 음료의 초기흡수속도가 고장액의 음료보다는 신속함을 알 수 있었다. 그러나 저장액의 물이나 보리차에 비해 증가는 되었으나 통계적인 유의성은 고찰하지 못하였다. 그러나 격렬한 운동시 수분의 손실외에도 전해질 등의 손실이 따르는 경우에는 등장 스포츠 음료가 보다 바람직하리라 사료되었다. 즉 전해질과 영양소를 적합하게 처방하여 수분 흡수와 맛 및 에너지를 강화시킨 등장용 스포츠 음료가 훨씬 효과가 있으리라 사료되었다. 스포츠 음료의 효능 및 수분 흡수에 관한 연구는 계속 연구되고 있으나 보다 상세한 기전은 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다. 스포츠 음료의 인체에 미치는 영향에 대해서도 다양한 각도로 실험이 더 진행되어야 한다고 사료된다.

결 론

문 헌

한국선수들이 선호하는 과즙음료 (Orange juice), 탄산음료 (Cola), 보리차 및 상풍화된 전해질 음료들 외에 본 연구를 위해 처방 설계한 2종의 스포츠 음료들을 토끼에 투여한 후 흡수 정도의 지표로 tritinated water ($^3\text{H}_2\text{O}$)를 사용하여 시료들간의 초기 흡수속도를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수분의 흡수량은 시간이 지남에 따라 점차 증가하였으나 각 시험용 시료에 대해 군의 수 ($2 \leq n \leq 6$)도 적고 군들간의 개체 차이가 현저하였다.

2. 등장인 Aquarius®, Gatorade®, Spoterra® 및 Pocari sweat®는 같은 전해질 함유 고장액 스포츠 음료인 다케다 식품보다 초기흡수속도가 큼을 알 수 있었다.

3. 시판 등장용 스포츠 음료들에 비하여 본 연구를 위해 처방한 음료의 초기흡수속도의 유의성을 고찰하지 못하였으나 흡수 양상은 유사함을 알 수 있었다.

4. Aquarius®, Gatorade®, Spoterra®, Suntory® 및 Pocari sweat®는 고장액의 탄산음료인 콜라에 비해 초기 수분 흡수 속도의 유의성 있는 증가를 보였다. 즉 전해질 및 당류를 함유한 등장용 스포츠 음료의 초기수분흡수가 고장액의 음료보다는 수분의 초기 흡수속도가 신속하였다.

5. 등장용 스포츠 음료들의 수분의 초기흡수속도가 저장액의 상수나 보리차와 비교할 때 통계적인 유의성은 적었다.

6. 과격한 운동에 의하여 수분의 증발외에도 전해질 성분의 손실이 따르는 선수들에게는 고장액의 음료는 바람직하지 않으며, 또한 상수나 보리차등의 저장액 음료들보다는 전해질과 영양소를 적절하게 처방하여 수분 흡수와 맛, 청량감 및 에너지를 강화시킨 등장용 스포츠 음료가 훨씬 효과가 있으리라 사료되었다.

감사의 말씀

본 연구는 스포츠과학 연구소 연구조성비와 (주) 롯데-삼강의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

- 1) C.S. Leithead and A.R. Lind, *Heat stress and heat disorders*, England, Cassell and Co, London, (1964).
- 2) E. Sohar, Heat and water balance during physical effort in hot climate, *Mada*, **10**, 187-193 (1965).
- 3) W.V. Beaumont and J.C. Strand, Changes in total plasma content of electrolytes and proteins with maximal exercise, *J. Appl. Physiol.*, **34**(1), 102-106 (1973).
- 4) G. La Cava, What's sports medicine : Definition and tasks, *J. Sports Med. and Phys. Fitness*, **17**, 1-3 (1977).
- 5) J. Bergstrom and E. Huttman, Nutrition for maximal sports performance, *JAMA*, **221**, 999-1006 (1972).
- 6) E.M. Clarkson, J.R. Curtis, R.J. Jewker, B. E. Jones, V.A. Luck, H.E. de Wardner and N. Phillips, An oral slowly released sodium chloride preparation, *Br. Med. J.*, **3**, 504-607 (1971).
- 7) C-K. Kim and B-J. Lee, The absorption of water from the isolated small intestine of the rat, *Yakhak Hoeji*, **32**(3), 194-197 (1988).
- 8) J.S. Fordtran and J.M. Dietschy, Water and electrolyte movement in the intestine, *Gastroenterology*, **50**(2), 263-285 (1966).
- 9) G.R. Bucher, C.E. Anderson and C.S. Robinson, Chemical changes produced in isotonic solutions of sodium sulfate and sodium chloride by the small intestine of the dog, *Am. J. Physiol.*, **163**(1), 1-13 (1950).
- 10) R.B. Fisher, The absorbance of water and of some small solute molecules from the isolated small intestine of the rat, *J. Physiol.*, **130**, 655-664 (1955).
- 11) H.J. Binder and C.L. Rawlins, Electrolyte transport across isolated large intestinal mucosa, *Am. J. Physiol.*, **225**(5), 1232-1239 (1973).
- 12) D.H. Smyth and C.B. Taylor, Transfer of water and solutes by an in vitro intestinal preparation, *J. Physiol.*, **136**, 632-648 (1957).
- 13) G.H. Wright, Net transfers of water, sodium, chloride and hydrogen ions across the gastric mucosa of the rabbit fetus, *J. Physiol.*, **163**, 281-293 (1962).