Sleep Medicine and Psychophysiology
수면 · 정신생리 6(2): 116 - 125, 1999

주간 운동량이 수면구조와 수면 중 Growth Hormone, Testosterone, Cortisol, β-endorphin의 분비에 미치는 영향

The Effect of Daytime Exercise Load on Sleep Structure and the Secretion of Growth Hormone, Testosterone, Cortisol, β-endorphin during Sleep

김진항[2] · 홍승봉[1] · 이지영[1] · 조근종[2]
Jin Hang Kim,[2] Seung Bong Hong,[1] Ji Yeong Yi[1] and Keun Chong Cho[2]

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study is to investigate the effect of exercise load on sleep structure and stress hormone secretion during sleep.

Methods: Five male physical education students were included in this study after giving their written, informed consents in the Research Institute for Sports Science at the University of Hanyang. All subjects have performed for at least 3 years in a regular aerobic exercises such as football, basketball, and running. The subjects were divided into three groups ; NOE(non - exercise), MDE(middle duration exercise), LDE(long duration excercise). MDE group maintained a total of 120 min exercise, and LDE group maintained a total of 300 min exercise by football, basketball or badminton. All subjects were acclimatized to the experimental sleep condition by spending one night under expermental conditions, including the placement of an intravenous catheter. During the subsequent night(24 : 00 - 08 : 00), somnopolygraphic sleep recordings were obtained, and blood for mea - suring growth hormone, cortisol, testosterone, and β - endorphin was collected every 120 min throughout the night. Blood samples were obtained from prominent forearm veins of subjects. Then, the samples were immediately placed in ice and centrifuged within 10 min at 3000 rpm at 4℃. Statistical analyses were performed using the SPSS/PC$^+$. Data were analyzed by one - way ANOVA with repeated measures.

Results: No significant differences among groups were observed in sleep latency, total sleep time, stage 2 sleep, and slow wave sleep. However, daytime exercise produced significant changes in stage 1 sleep, REM sleep, stage 2 sleep latency, REM sleep latency and sleep efficiency. Stage 1 sleep, stage 2 sleep latency, and REM sleep latency significantly increased in LDE compared to those of NOE and MDE groups. But the amount of REM sleep significantly decreased in LDE. Sleep efficiency of MDE was higher than those of NOE and LDE. The blood concentrations of growth hormone, testosterone, and cortisol during night sleep were significantly lower in LDE than in NOE. β - endorphin concentrations in blood during night sleep were not different among groups.

Conclusion: The daytime exercise load was significantly related to sleep structure and stress hormone secretion during night sleep. Long duration exercise showed a harmful effect on sleep structure and hormone secretion. However, middle duration exercise had a beneficial effect on sleep structure and hormone secretion during sleep. **Sleep Medicine and Psychophysiology 1999 ; 6(2) : 116-125**

Key words: Exercise · Sleep structure · Growth hormone · Cortisol · Testosterone · β - endorphin.

[1]성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 신경과
Department of Neurology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea
[2]한양대학교 체육학과
Department of Physical Education, Hanyang University, Seoul, Korea
Corresponding author: Seung Bong Hong, Department of Neurology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, 50 Ilwon-Dong, Kangnam-Ku, Seoul 135-710, Korea
Tel: 02) 3410-3599, Fax: 02) 3410-0052
E-mail: sbhong@smc.samsung.co.kr

서 론

수면의 역할을 규명하기 위해 과거부터 현재까지 다양한 연구들을 하고 있지만, 여전히 많은 부분이 밝혀지지 않고 있으며, 특히 수면과 운동에 대한 연구는 매우 미미한 실정이다. REM 수면은 각성 상태에서 나타나는 뇌파와 유사하게 파장의 크기가 작고, 비교적 빠르게 움직이는 mixed frequency를 보인다. 생리적 측면에서 호흡, 심박수, 혈압 등은 불규칙해지나 근육 자체는 매우 이완되어 있다. NREM과 REM 수면은 약 90분을 주기(cycle)로 4 6회 반복됨으로써 하룻밤 동안의 수면을 이룬다(1). 따라서 수면의 질을 평가하기 위해서는 수면 중 뇌파유형, 안구운동, 근긴장도를 검사하여 NREM 1 - 4단계 및 REM 수면의 분율을 구하고, 수면잠복기, 수면효율, 각성빈도 등을 산출한다. 그외에 호흡, 심전도, 가슴과 복부의 움직임, 다리의 움직임, 동맥내 산소포화도, 코골이 등을 측정하여 전체적인 수면구조 및 수면중 생리상태를 평가한다.

수면에 대한 일부 연구자(2,3)들은 서파수면(slow wave sleep)은 육체적으로 피로 회복의 기능을 갖는다고 하였고, 이는 적당한 운동 후 밤 수면 동안에 서파수면의 시간이 증가하는 결과를 보인 다른 연구(4 - 6)들을 통해 제시 및 입증되었다. 이러한 연관성을 배경으로 수면과 운동 효과에 대한 최초의 연구(7,8)에서 운동에 적응된 사람일수록 운동에 의해 총 수면과 서파수면의 시간이 길어진다. 그리고 수면잠복기(sleep latency)도 짧아지지만, 운동에 적응되지 않은 사람들은 오히려 서파수면의 시간이 감소되었거나 또는 수면에 별다른 영향을 미치지 않은 것으로 보고되었다(9 - 11). 이러한 결과들은 운동과 서파수면 사이에 밀접한 관계가 있음을 시사하고 있다.

또한 운동과 REM 수면에 대한 연구에서 과도하거나 부적절한 운동은 REM 수면시간의 감소를 야기하지만(6,12 - 14), 일부 연구에서는 별다른 변화가 없다고 하였다(14 - 16). 즉, 적절한 운동은 서파수면과 연관이 있으며, 과도한 운동과 REM 수면은 높은 관련성이 있는 것으로 추측하지만, 운동이 수면구조에 미치는 전반적인 영향에 대하여는 여전히 이견이 있어 이에 대한 연구가 필요하다.

한편 수면과 호르몬의 연구들을 살펴보면 서파수면의 3, 4 단계에서 성장 호르몬(growth hormone : GH)의 분비가 증가하는 경향이 있다(17). 또한 GH 분비를 억제하는 약물을 쥐에게 투여하면 정상적인 수면이 이루어지지 않는다는 보고(18)가 있어 수면과 성장 호르몬의 직접적인 관련성을 제시하고 있다. 수면중 GH의 분비는 수면 초기(1 2 cycle)에 최고치를 보이지만, cortisol과 testosterone은 수면 초기에 최하치를 보이다가 수면 후반부에 최고치로 증가하는 양상을 보인다(19,20). 이와 같이 호르몬들이 수면에 의해 서로 다른 반응을 보인다는 것은 수면중 분비되는 호르몬들은 서로 다른 역할을 함을 의미한다. 특히 수면중 호르몬 분비는 운동에 의해 민감하고 다양하게 변화한다. 수면중 GH 농도의 최고치가 운동에 의해 감소한다는 보고(21)와 변화가 없다는 연구(22), 그리고 오히려 증가한다는 보고(10,23, 24) 등 서로 다른 결과들이 제시된 바 있다. Cortisol이나 testosterone도 마찬가지로 서로 다른 결과들을 보여준다(10, 21,25 - 27).

위와 같은 연구에서 운동과 수면중 호르몬분비의 연관성을 고려해 볼 때 일반적으로 2가지의 측면에서 연구가 이루어지고 있다. 첫째는 수면과 호르몬의 연관성을 분석하여 특정한 수면 호르몬을 제시하는 것이고, 둘째는 수면중 특정 호르몬 분비의 변화 양상을 분석하고 이에 대한 의미와 기전을 예측하는 것이다. 일부 선행 연구들에서는 첫번째의 명제는 어느 정도 접근되고 있지만, 두 번째 명제는 매우 미흡한 실정이다. 수면과 관련된 특정 호르몬에는 GH, cortisol, testosterone, melatonin 등이 제시되고 있으며, 최근에도 이에 대한 연구가 계속 진행되고 있다. 그러나 이런 호르몬들이 수면중 어떻게 변화하고, 그 변화가 수면의 질과 어떻게 연관되어 있는지 알아보아야 할 것이다.

본 연구의 목적은 운동량이 수면구조 및 호르몬분비에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이를 위해 운동에 적응되어 있는 서울 소재 한양대학교 체육학과 남학생 5명을 선정하여 집단내 및 집단간 반복 측정을 실시하였다. 운동량의 적용은 운동시간을 기준으로 운동처치를 하지 않은 경우와 중정도의 운동, 그리고 장시간의 운동처치를 실시하였다. 운동량에 따라 집단을 3군으로 나누고 수면다원검사를 통해 수면구조, 즉 sleep latency, total sleep time, stage 1 sleep, stage 2 sleep, SWS, REM sleep, stage 2 sleep latency, REM sleep latency, sleep efficiency와 호르몬분비, 즉 GH, cortisol, testosterone, β - endorphin의 혈중 농도변화를 비교분석함으로써 운동량이 수면구조와 호르몬분비에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

본 연구는 다음과 같은 연구 가설을 설정하였다.

1. 가설 Ⅰ : 운동량과 수면중 수면구조의 변화

운동량에 따라 sleep latency, total sleep time, stage 1 sleep, stage 2 sleep, SWS(stage 3+4), REM sleep, stage 2 sleep latency, REM sleep latency와 sleep efficiency (%)는 차이가 있을 것이다.

Table 1. Physical characteristics of subjects

Subjects(n=5)	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)	HRmax(bpm)	VO_2 max(mL/kg/min)
PSW	25	176	72	201	49.14
JJH	25	175	73	199	48.23
JWC	26	170	70	193	44.22
SJH	25	171	66	198	47.81
KDO	26	175	72	197	45.37
M±SD	25.4±0.6	173.4±2.7	70.6±2.8	197.6±3.0	47.0±2.07

HRmax : maximum heart rate, bpm : beat per minute VO_2max : maximum oxygen ventilation
M±SD : mean±standard deviation

2. 가설 Ⅱ : 운동량과 수면중 호르몬분비의 변화

운동량에 따라 수면중 GH, cortisol, testosterone, β-endorphin의 분비량 및 시간별 농도 변화는 차이가 있을 것이다.

여기서, 호르몬 분비량(total hormone consentration)은 수면중인 02시, 04시, 07시에 검사한 각각의 혈중농도의 합을 의미한다.

하지만 본 연구는 다음과 같은 제한점을 갖는다. 1) 대상자 개인의 생활습관, 성격, 심리적 상태는 고려하지 못하였다. 2) 실험기간 동안 일상적 신체활동을 완전히 통제하지 못하였다. 3) 운동량에 대한 처치는 운동시간을 기준으로 구기종목을 중점으로 실시하였다. 4) 대상자의 수면시간은 24 : 00부터 다음날 08 : 00까지로 한정하였다. 5) 대상자들의 수면검사는 성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 수면다원실에서 측정하였다.

연 구 방 법

서울의 한양대학교 체육학과 학생을 대상으로 체력과 수면시간 및 습관이 유사한 자들을 5명 선정하였다. 대상자들은 운동시간을 기준으로 크게 비교집단과 운동집단으로 구분하였다. 즉, 운동처치가 없는 경우(NOE : non-exercise group)와 중정도 운동(MDE : middle duration exercise group), 그리고 장시간 운동(LDE : long duration exercise group)을 처치한 경우로 각각 구분하여 동일 대상자들의 집단내 및 집단간 반복측정 설계로서 집단을 구성하였으며, 이들의 신체적 특징은 표 1과 같다. 본 연구의 기간은 1998년 1월에서 1998년 11월까지이었다.

운동량이 수면구조 및 호르몬분비에 미치는 영향을 규명하고자 실험 당일 오후에 운동처치를 시킨 후, 19시에 동일한 식단으로 함께 석식을 하였고, 24시부터 다음날 08시까지 삼성서울병원 수면다원검사실에서 수면다원검사와 혈중 호르몬농도를 검사하기 위하여 4회에 걸쳐서 채혈하였다.

운동처치 방법은 동일 대상자들의 반복측정으로 운동처치가 없는 경우(NOE)와 중정도 운동처치(MDE), 그리고 장시간 운동처치(LDE)로 운동시간을 기준으로 각각 실시하였다. 또한 운동처치에 따른 누적 효과를 최소화하기 위하여 각 운동처치는 4일 간격으로 실시하였으며, 실험의 일정은 운동처치가 없는 경우, 중정도 운동처치, 장시간 운동처치의 순으로 실시하였다.

운동 처치는 5명의 동일 대상자들에서 각각 반복 실시하였다. 비교집단(NOE)은 일상적인 생활 이외에 특별한 운동에는 참가하지 않았으며, 중정도 운동집단(MDE)은 120분 동안 구기 종목 위주의 유산소성 운동을 실시하였다. 장시간 운동집단(LDE)은 300분 동안 구기 종목 위주의 유산소성 운

Table 2. The exercise program for MDE and LDE

Group	Time	Exercise Program	Ex.Hrmean (beat/min)	EX.Hrmax (beat/min)
LDE	10 : 00	Gathering		
LDE	11 : 00 - 11 : 50	Meal		
LDE	12 : 00 - 13 : 00	Rest		
LDE	13 : 00 - 13 : 20	Pre-exercise		
LDE	13 : 20 - 14 : 00	Basket.(1st)	128	175
LDE	14 : 00 - 14 : 10	Rest		
LDE	14 : 10 - 14 : 50	Basket.(2nd)	130	174
LDE	14 : 50 - 15 : 00	Rest		
MDE	14 : 40 - 15 : 00	Pre-exercise		
MDE LDE	15 : 00 - 15 : 45	I-F.B.(1st)	133	177
MDE LDE	15 : 45 - 15 : 55	Rest		
MDE LDE	15 : 55 - 16 : 40	I-F.B.(2nd)	134	176
MDE	16 : 40 - 16 : 50	Post-Exercise		
LDE	16 : 40 - 16 : 50	Rest		
LDE	16 : 50 - 17 : 40	Badminton	124	145
LDE	17 : 40 - 17 : 50	Rest		
LDE	17 : 50 - 18 : 40	Badminton	123	143
LDE	18 : 40 - 18 : 50	Post-exercise		

Group : subject group who participated in that program
Pre-exercise : body stretching before exercise, Post-exercise : body stretching after exercise
MDE : middle duration exercise, LDE : long duration exercise
Ex.HRmean : mean heart rate during exercise,
Ex.HRmax : maximum heart rate during exercise
Basket.(1st) : basketball first half, Basket.(2nd) : basketball second half
I-F.B. : indoor-football

동을 실시하였다. 그러나 장시간의 운동에 따른 대상자들의 심리적 부담과 스트레스를 고려하여 운동 종목은 대상자들이 선호하는 축구와 농구의 구기종목을 위주로 유산소성 지구력 운동을 실시하였다. 이에 대한 운동 처치 프로그램의 내용은 표 2와 같다.

수면구조와 호르몬 분석을 위하여 대상자들은 실험 당일 21시까지 삼성서울병원 수면다원검사실에 도착하여 충분한 휴식을 하였다. 그리고 23시에 수면다원검사 및 채혈을 위한 취침 준비를 한 후, 24시부터 소등을 하여 다음 날 08시까지 수면을 취하게 하였다.

수면중 호르몬 변화의 분석을 위한 채혈은 수면 전에 전완 정맥에 three way catheter(1.5 mL)를 삽입한 후, 24시, 02시, 04시, 07시에 각각 채혈을 실시하였다. 또한 채혈 중 catheter에 연결된 식염수의 혈액내 유입으로 인한 호르몬 농도에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 채혈시 처음 2 mL는 제거한 후, 다시 10 mL를 채혈하였다.

특히 대상자들의 수면 환경의 변화와 뇌파 전극부착, 그리고 채혈에 의한 거부감으로 인한 수면 방해를 최소화하기 위하여 실험전에 수면다원 검사실에서 수면다원검사기(polysomnography)의 전극과 전완 정맥에 catheter를 삽입한 상태에서 수면을 취하도록 하였다. 즉, 실험당일과 동일한 조건으로 2회에 걸쳐 예비실험을 하여 실험당일에 수면의 환경적 조건에 적응할 수 있도록 최대한 배려하였다. 또한 실험당일에 운동처치 이외 다른 특별한 활동을 제한하고, 식사에 의한 호르몬 분비의 영향을 최소화하기 위하여 석식은 동일한 음식을 섭취하였으며, 석식 이후 물 이외의 섭취는 통제하였다.

혈중 Cortisol, Testosterone, GH, β-endorphin의 농도를 다음과 같은 방법으로 측정하였다.

1. Cortisol과 Testosterone의 분석 방법

Antibody를 코팅한 tube에 표준(standard)과 비교(control), 그리고 실험검체(sample)에 각각 25 μL(cortisol), 50 μL(testosterone) 첨가한다. ^{125}I가 표시된 antigen 1.0 mL을 첨가하여 혼합한 후 cortisol은 45분, testosterone은 3시간 정도 반응시켜 tube에 내용물을 흡입 후 γ-counter로 정량화한다.

2. Growth hormone의 분석 방법

Antibody가 코팅된 bead에 표준(standard)과 비교(control), 그리고 실험검체(sample)를 100 μL 첨가한다. ^{125}I가 표시된 GH Antibody를 100 mL 첨가하고, 실온에서 rotator로 3시간 반응시킨 후, bead를 세척하여 γ-counter로 정량화한다.

3. β-endorphin

검체의 전 처리는 Chromatography column에 Sepharosc particle를 200 μL 통과시킨 후, 표준, 비교물질, 시료(EDTA Plasma)를 1.0 mL 통과시킨 다음, 2 8℃에서 4시간 동안 Rotating시켜 그 상층액을 준비한다.

분석은 유리 튜브에 전처리된 표준물질과 비교할 검체를 200 μL씩 첨가한 후, 중화버퍼를 100 μL씩 첨가하고, β-endorphin Anti-serum을 100 μL 첨가하여, 2 8℃에서 16 24시간 반응시킨다. ^{125}I가 표시된 β-endorphin Ag를 100 μL 첨가한 후 2 8℃에서 16 24시간 반응한 후 PEG 혼합물을 500 μL씩 첨가한다. 2 8℃에서 15 25분

Table 3. The sleep structures of NOE, MDE and LDE groups

Sleep \ Group	NOE	MDE	LDE	F ratio
Time(min)				
Sleep latency	5.8±1.2	5.5±2.4	7.2±2.3	0.939
Total sleep time	419.5±19.0	430.3±20.4	428.8±5.5	0.637
Percentage(%)				
Stage 1	13.0±2.4	9.1±0.6	16.5±6.5	4.251*
Stage 2	48.5±6.7	56.1±10.0	59.2±9.2	1.971
SWS	12.6±5.2	13.1±13.0	10.2±8.5	0.135
REM	25.9±1.4	21.8±3.8	14.1±0.9	31.727***
Latency(min)				
Stage 2	9.0±1.6	8.5±3.4	12.3±1.4	4.031*
REM	81.6±11.0	71.5±8.3	144.8±43.3	11.457**
Sleep efficiency(%)	88.2±4.0	93.0±1.1	88.8±1.6	5.035*

Values are mean±SD.
NOE : non-exercise, MDE : middle duration exercise, LDE : long duration exercise, SWS : slow wave sleep, REM : rapid eye movement
*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001(one way ANOVA with repeated measures)

반응시켜, 2 8℃ 76 중력(G)에서 20분 원심분리한 후 상층을 완전히 없앤 후 γ-counter로 정량화한다.

본 연구는 운동량에 따른 수면중 뇌파와 호르몬 변화로써 독립변인은 운동량과 채혈시간이며, 종속변인은 수면구조와 호르몬분비로써 SPSS/window용 통계 프로그램인 one-way ANOVA with repeated measures를 적용하였다. 두 군간의 유의성 검정에는 paired t-test를 사용하였다. 모든 통계치의 유의수준은 $\alpha=0.05$로 정하였다.

결 과

1. 운동량이 수면구조에 미치는 영향(표 3)

1) 수면 잠복기

NOE 경우 5.8분이었고, MDE에서는 5.5분이었으며, LDE에서는 7.2분으로 나타났다. 중정도의 운동이 장시간 운동에 비하여 더 빨리 잠에 들게 하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

2) 총 수면시간

총 수면시간의 평균은 NOE가 419.5분이었고, MDE는 430.3분이었으며, LDE는 428.8분을 비슷하였고, 집단간 유의한 차이를 보이지 않아 운동량은 총 수면시간에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3) 수면 1단계

NOE에서 평균 분율은 13.0%이었고, MDE는 9.1%이었으며, 그리고 LDE는 16.5%로 나타났다. 즉, 중정도의 운동에서 가장 짧았으며, 장시간 운동에서 가장 길게 나타났다. 이에 대한 차이 검증 결과에서 집단간의 유의한 차이가 있었으며 사후 검정 결과, LDE와 MDE 간에서 유의성이 있었다.

4) 수면 2단계

수면 2단계 평균 시간의 결과는 NOE에서 48.5%, MDE는 56.1%이며, LDE는 59.2%로 나타났다. 즉, 장시간의 운동에서 가장 길게 나타났으나, 운동을 하지 않은 경우에서 가장 짧게 나타났다. 그러나 집단간 유의한 차이를 보이지 않아 수면 2단계는 운동량에 의해 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다.

5) 서파수면

서파수면(SWS)의 평균 분율은 NOE에서 12.6%, MDE에서는 13.1%이며, LDE에서는 10.2%로 나타났다. 이러한 결과는 중정도의 운동이 깊은 수면의 시간을 가장 길게 하였으며, 장시간의 과도한 운동은 깊은 수면의 시간을 단축시키는 것을 시사하였으나, 집단간 유의한 차이를 보이지 않았다.

6) REM 수면

REM 수면의 평균 분율은 NOE가 25.9%이고, MDE는 21.8%, 그리고 LDE에서는 14.1%로 나타났다. 특히 장시간의 과도한 운동에 의해 REM 수면이 많이 감소하였다. 집단간의 유의한 차이가 있었으며, 사후 검정 결과에서 모든 집단간에 유의성을 보여 REM 수면은 운동량에 따라 영향을 많이 받는 양상이었다.

7) 수면 2단계 잠복기

수면 2단계 평균 잠복기은 NOE에서 9.0분, MDE는 8.5분, 그리고 LDE에서는 12.3분으로 나타났다. 즉, 장시간의 과도한 운동에 의해 수면 2단계에 도달되는 시간이 지연된 반면, 중정도의 운동은 가장 짧은 잠복기를 보였다. 집단간 유의한 차이가 있었으며, 사후검정 결과에서는 MDE와 LDE 간에 유의한 차이가 있었다.

8) REM 수면 잠복기

REM 수면의 평균 잠복기는 NOE의 경우 81.6분이었고, MDE는 71.5분 이었으며, 그리고 LDE는 144.8분으로 나타났다. 즉, REM 수면의 잠복기는 중정도의 적당한 운동에서 짧게 나타난 반면, 장시간 운동에서 매우 길게 나타났다. 집단간의 유의한 차이가 있었으며, 사후 검정 결과에서는 LDE와 NOE, MDE간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타나 장시간의 운동은 REM 수면에 도달하는 시간이 지연시킴을 알 수 있었다.

9) 수면 효율

수면 효율은 NOE에서는 88.2%이었고, MDE는 93.0%이었으며, LDE는 88.8%로 나타났다. 즉, 수면 효율은 중정도의 적당한 운동을 했을 때 가장 높았다. 집단간 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 사후검정 결과에서는 NOE와 MDE

Table 4. The sum of hormone concentrations at 02：00, 04：00 and 07：00 during sleep after NOE, MDE and LDE

Group	GH (ng/mL)	Cortisol (μg/dL)	Testosterone (ng/mL)	β-endorphin (pmol/L)
NOE	32.5±8.6	13.6±3.4	17.4±2.2	13.9±2.6
MDE	11.2±6.7	11.9±6.3	16.1±1.6	11.0±1.1
LDE	5.7±2.1	9.5±1.3	12.8±0.1	10.5±0.7

Values are mean±SD.
NOE：non-exercise group, MDE：middle duration exercise group,LDE：long duration exercise group

Table 5. The blood concentrations of GH, cortisol, testosterone and β-endorphin at night after NOE, MDE and LDE

Time	Group	Blood concentration			
		GH(ng/mL)	Cortisol(μg/dL)	Testosterone(ng/mL)	β-endorphin(pmol/L)
24 : 00	NOE	0.57±7.07	1.83±1.42	4.30±0.24	3.27±0.39
	MDE	0.57±0.13	1.57±1.09	4.73±0.29	3.33±0.68
	LDE	0.34±0.16	3.33±0.76	3.40±0.50	3.93±0.18
02 : 00	NOE	28.80±7.21	0.66±0.26	5.43±0.72	4.03±1.40
	MDE	9.00±4.81	1.98±1.74	5.40±0.55	3.73±0.69
	LDE	4.35±2.37	1.50±0.28	3.90±0.14	2.95±0.18
04 : 00	NOE	3.40±0.85	1.35±0.58	6.13±0.84	4.00±0.67
	MDE	1.10±0.87	2.07±2.04	5.13±0.63	3.73±0.61
	LDE	0.85±0.25	1.27±0.30	4.25±0.11	4.25±1.17
07 : 00	NOE	0.25±5.12	11.60±2.01	5.87±0.69	5.87±1.14
	MDE	1.06±1.12	7.80±2.29	5.57±0.67	3.53±0.27
	LDE	0.46±0.13	6.70±0.71	4.70±0.14	3.25±0.32

Mean±SD : mean±standard deviation, NOE : non-exercise, MDE : middle duration exercise, LDE : long duration exercise

간에 유의한 차이가 있었다.

2. 운동량이 수면 중 호르몬분비에 미치는 영향(표 4, 5)

1) 수면중 호르몬의 총 분비량

(1) 수면중 GH의 총 분비량

NOE의 경우 평균 32.45(ng/mL)이었고, MDE의 경우 11.16(ng/mL)이었으며, LDE는 5.66(ng/mL)를 나타냈다. 즉, 운동량이 증가할수록 GH의 분비량은 감소하였으며, 특히 장시간의 과도한 운동은 수면 중 GH의 분비량을 크게 감소시켰다. 이에 대한 차이검증 결과 유의한 차이가 있었으며($p<0.024$, ANOVA with repeated measures), 2군간의 검정에서 NOE와 MDE($p=0.004$), LDE($p=0.003$, paired t-test) 사이에 유의한 차이가 있었다.

(2) 수면중 cortisol의 총 분비량

NOE에서 13.6(μg/dL)이었고, MDE은 11.9(μg/dL), LDE에서는 9.5(μg/dL)으로 운동량이 증가할수록 분비량이 감소하는 경향을 보였으나, 3군간에 유의한 차이는 보이지 않았다($p=0.113$, ANOVA with repeated measures). 그러나, 두군간의 검정에서는 NOE군과 LDE군 사이에 유의한 차이가 있었다($p=0.025$, paired t-test).

(3) 수면중 Testosterone의 총 분비량

NOE의 경우 17.4(ng/mL)이었고, MDE는 16.1(ng/mL)이었으며, LDE는 12.9(ng/mL)로 나타나 운동량이 증가할수록 수면중 testosterone의 분비량이 감소하는 경향을 보였으나, 3군간에 유의한 차이는 없었다($p=0.054$, ANOVA with repeated measures). 그러나, 2군간의 검정에서는 LDE와 NOE($p=0.008$, paired t-test), MDE와 NOE($p=0.043$) 간에 유의한 차이가 있었다.

(4) 수면중 β-endorphin의 총 분비량

NOE의 경우 13.9(pmol/L)였고, MDE은 11.0(pmol/L), LDE에서는 10.5(pmol/L)로 나타났다. 즉, 운동을 실시한 집단에 비해 비교집단에서 약간 높게 나타났으나, 세 군간에 유의한 차이는 없었다($p=0.256$, ANOVA with repeated measures). 두 군간의 검정에서도 유의한 차이가 없었다.

2) 수면 중 시간별 호르몬의 농도 변화

(1) 수면 중 시간별 GH의 농도 변화

모든 집단에서 취침시(24시)에는 낮다가 급격히 증가하여 02시에 최고치를 나타냈으며, 이를 기점으로 04시까지 급속히 감소하다가 04시부터 07시까지는 완만하게 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 집단간 변화의 특징은 NOE의 경우에는 수면 직전에 0.57(ng/mL)로 나타나 MDE나 NOE와 큰 차이가 없었으나, 02시와 04시, 그리고 07시에서는 급속히 증가 후 큰 감소를 보이다가 다시 완만하게 감소하는 경향을 보였다. MDE와 LDE의 경우도 NOE와 비슷한 양상을 보였으나, 특히 02시에서는 NOE보다 완만한 증가를 보였다.

(2) 수면 중 시간별 Cortisol의 변화

모든 집단이 취침 직후부터 04시까지 완만한 감소나 비슷한 수준을 유지하다가 04시 이후부터 07시까지 급속히 증가

하는 경향을 나타냈다. 또한 집단간 변화의 특징은 NOE 경우 수면 직전에서 02시까지는 감소 후 서서히 증가하다가 수면 중반에서 급속하게 증가하여 07시에는 최고치를 나타냈다. MDE는 수면 직전 최하의 수준을 나타냈으며, 수면중에서는 계속 점진적으로 증가하였다. 또한 LDE는 수면 직전에 농도가 3.33(μg/dL)으로 MDE의 수면 직전 농도인 1.57(μg/dL)보다 거의 두 배가 높았으며, 수면 후 04시까지 계속 감소하다 증가되는 경향을 보였다. 이러한 결과에서 NOE와 MDE는 수면 직전 비슷한 농도를 보였으나 장시간 과도한 운동군은 다른 집단에 비해 2배 정도의 높은 수준을 보여 낮에 실시한 과도한 운동이 취침시의 cortisol 분비를 유의하게 증가시켰다($p<0.001$, ANOVA with repeated measures).

(3) 수면중 시간별 Testosterone의 농도 변화

모든 집단이 취침시부터 증가와 완만한 증감을 지속한 후, 07시에서는 수면 직전에 비해 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 집단간 변화의 특징은 NOE의 경우 수면 직전에 4.30(ng/mL)으로써 04시까지 계속 증가하여 집단간 최고치인 6.13(ng/mL)을 나타냈으며, 이 후 감소하는 경향을 보였다. MDE는 수면 직전부터 증감을 보이면서 완만한 변화의 특징을 보였고, LDE에서는 수면 직전에 3.40(ng/mL)으로 집단간 최소치를 나타냈고, MDE나 NOE와는 달리 완만하게 증가하여 07시에는 4.70(ng/mL)을 나타냈다. 즉 LDE는 MDE나 NOE에 비해 수면중 전반적으로 낮은 농도를 보였다.

(4) 수면 중 시간별 β - endorphin의 농도 변화

NOE와 MDE는 수면 직후부터 수면 종료까지 비슷하게 유지되었으나, LDE의 경우에는 계속적으로 증감을 반복하는 경향을 보였다. 또한 집단간 변화의 특징은 NOE 경우 수면 직전 농도가 3.27(pmol/L)이었고, 이 후 완만하게 증가 감소를 보이다가 07시에 집단간 최고 수준인 5.87(pmol/L)을 나타냈다. 또한 MDE는 수면 직전 3.33(pmol/L)에서 02시까지 증가하다가 점점 감소하여 07시에는 3.53(pmol/L)이었다. LDE는 수면 직전에 농도가 3.93(pmol/L)이었으며, 02시에는 2.95(pmol/L), 04시에는 4.25(pmol/L), 그리고 07시에는 3.25(pmol/L)로 측정되어 NOE와 MDE는 완만한 변화를 보인 반면 LDE는 불규칙적인 급격한 증감을 계속하는 경향을 보였다.

고 찰

운동량에 따른 수면구조의 변화를 알아보기 위하여 총 수면 시간, 수면 잠복시간과 수면 1단계, 2단계, 서파수면, REM 수면, 수면 2단계 잠복시간, REM 수면 잠복시간, 수면 효율을 분석하였다. 또한 수면중 GH, cortisol, testosterone, β - endorphin의 농도변화를 중심으로 본 연구의 논의를 접근하였다.

1. 운동량과 수면구조

Driver(28)는 15 km 및 42 km 달리기, 철인 3종 경기 후에 실시한 수면검사를 분석한 결과, 다른 집단에 비해 철인 3종 경기에서 sleep latency와 REM sleep latency가 길어지고, REM 수면은 감소하였으나 서파수면은 별다른 차이가 없다고 보고하였다. 또한 Kern(20)은 운동량에 따른 수면구조의 변화를 분석하기 위해 훈련된 남성들을 대상으로 저강도의 장시간 운동, 중강도의 장시간 운동을 실시한 결과, 중강도의 장시간 운동에서 REM 수면은 감소하였으며, 저강도의 장시간 운동에서는 stage 2 sleep latency가 증가하였다고 보고하였다. 이러한 선행 연구들은 본 연구의 결과와 잘 일치한다. 즉 본 논문의 연구결과에서 장시간의 과도한 운동은 다른 집단에 비해 stage 1 sleep과 stage 2 sleep latency, 그리고 REM sleep latency가 모두 증가하였다. 그리고 REM sleep의 양은 과도한 운동이 다른 집단에 비해 현저하게 감소하였지만, sleep efficiency는 중정도 운동 후 가장 좋았다.

본 연구 결과 과도한 운동 후에 수면 중 각성이 증가하였고, stage 1 수면이 많아지면서, stage 2 수면잠복기가 길어졌다. 이는 Kern(20), Montgomery(8)의 연구결과와 유사하며, 과도한 운동은 수면을 방해함을 시사한다. 따라서 적당한 운동을 했을 때는 깊은 수면으로 진입하는 시간이 단축된 반면, 과도한 운동 후에는 오히려 증가되는 양상을 보였다. 수면 2단계는 얕은잠과 서파수면의 경계로서 전체 수면시간의 50% 정도를 차지하고 있는데, 그 절대양은 운동량에 의해서는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

장시간 운동 후에 서파수면이 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. Zir(22), Kufer(16), Montgomery(12), Driver(28), Kern(20) 등의 연구도 유의한 차이가 없었다고 보고하였으나, Hartmann(2), Oswald(3), Shapiro(6) 등의 연구는 장시간 운동에 의해 서파수면이 감소함을 보고하였다. 본 연구에서 운동량에 따라 서파수면의 변화가 유의하지 않았던 이유는 다음과 같이 추측된다. 첫째, 대상자들에게 처치한 장시간의 운동이 이들의 체력수준을 감안해 볼 때 서파수면에 변화를 미치기에는 다소 미흡한 것으로 생각된다. 둘째, 본 연구결과에서 제시된 서파수면의 시간은 집단간 유의한 차이가 없게 나타났지만, 전체 수면시간을 전반부, 중반부, 후반부로 구분할 때 과도한 운동군은 다른

집단에 비해 전반부나 중반부에 서파수면의 낮은 비율을 보였지만, 수면 후반부에서는 높은 비율을 보여, 정상적인 수면 형태가 역전되는 현상을 보였다. 셋째, 연구 방법상에 있어서 대부분의 다른 연구에서는 단순한 기록경기인 오래달리기, 바이킹, 철인 3종 경기 등의 종목을 실시한 반면, 본 연구에서는 축구, 농구, 베드민턴 등의 구기종목을 실시하였다. 즉, 운동에 대한 대상자들의 심리적 스트레스가 큰 차이를 보인 것으로 추측되며 이러한 차이는 수면의 질에 직접적인 영향을 미칠 것으로 사료된다.

한편 REM sleep latency는 과도한 운동군이 다른 집단에 비해 2배 정도 길어졌다. 이는 과도한 운동 후에는 stage 1 수면이 증가하고, stage 2 수면잠복기가 길어지고, 잦은 각성으로 인하여 REM 수면에 들어가는 것이 늦어진 것으로 생각된다. REM 수면양은 과도한 운동군에서 다른 집단에 비해 35 45% 정도 감소하여, 과도한 운동은 REM 수면에 부정적인 영향을 미쳤다.

수면 효율(sleep efficiency)은 중정도의 운동에서 다른 집단에 비해 유의하게 높았다. 즉, 중정도의 적절한 운동에 의한 적당한 피로는 수면의 효과와 질을 향상시킴을 알 수 있었다. 과도한 운동을 실시한 대상자들은 수면중에 코골이, 몸의 뒤척임, 각성상태 등을 빈번하게 나타냈으며, 근전도에서는 수면 중 근육의 이완이 잘 되지 않는 경향을 보였고, 심전도에서는 심박수가 불규칙적이었으나 대체로 증가되는 현상을 나타냈다. 또한 수면 다음날 아침에 대상자들을 면담한 결과, 과도한 운동을 실시한 3명의 대상자들은 무서운 악몽을 꾸었다고 하였다.

이상의 결과를 요약하면 장시간 운동군은 1) stage 1 수면이 늘어남, 2) stage 2 수면 잠복기와 REM 수면 잠복기가 길어짐, 3) REM 수면양의 감소, 4) 수면 효율의 낮아짐을 보였다. 그러나 중정도 운동에서는 1) stage 1 수면이 줄어듬, 2) 수면 효율의 높아짐을 보였다. 따라서 장시간의 과도한 운동은 수면에 부정적이며, 중정도 운동은 수면의 질과 효율에 향상시켰다.

2. 운동량과 수면중 호르몬 변화

운동과 수면에 대한 연관성에 대하여 정확한 기전은 여전히 불분명하며, 특히 운동량과 수면중 호르몬분비에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 몇몇의 선행연구와 호르몬의 기능 및 역할에 대한 일반적 기전, 그리고 운동과 호르몬에 대한 연구 결과들을 중심으로 해석하고, 고찰하는 방법으로 접근하였다. 본 연구에서 운동량에 따라 수면중 호르몬 총 분비량을 분석한 결과, 수면중 GH, testosterone과 Cortisol의 분비는 장시간의 과도한 운동에서 유의하게 낮았다. 그러나, β-endorphin은 집단간 유의한 차이가 없었다.

운동량과 수면 시간에 따른 호르몬 농도 변화에서 GH는 모든 집단이 수면 초반부터 증가하여 02시에 최고치를 나타냈으며, 이를 기점으로 수면 종료시까지 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 특히 02시를 기점으로 과도한 운동집단이 다른 집단에 비해 현저하게 낮은 수준을 보여 운동량이 증가할수록 GH 분비량은 감소하는 것으로 나타났다.

이와 관련된 선행연구들에서 Hachney등(21)은 운동 후 수면중 GH의 분비량이 감소했다고 보고한 반면, Zir(22)와 Adamson(10), Davies(23), Weltman(24) 등에서는 변화가 없거나, 오히려 증가한다는 결과들을 제시하였다. 그러나 본 연구의 결과는 Born(29), Hachney(21), Kern(20)의 연구결과와 일치하여 운동량에 의해 수면중 GH의 분비는 직접적인 영향을 받는다는 것을 확인하였다. 또한 수면중 GH 분비의 특징은 02시경에 최고수준의 분비량을 보인다는 점이다. 특히 수면중 GH는 수면 전반부(24 02시)에 지속적으로 증가하다가 수면중반(02 07시) 이후부터 급격히 감소하는 특징을 보였다.

또한 운동량에 따른 수면중 testosterone의 변화는 모든 집단에서 완만히 증가하는 경향을 보였다. 그러나 과도한 운동군은 다른 집단에 비해 전반적으로 유의하게 낮은 수준을 보였다. 이는 운동량이 증가할수록 testosterone의 농도는 감소하는 것을 의미한다. 이러한 결과는 Morville(30), Roffwarg(19), Kern(20)의 연구에서도 확인되었지만, Hachney(1989)의 연구에서는 상반된 결과를 보고하기도 하였다. 그러나 운동량과 수면중 testosterone의 분비량은 반비례하는 것이 일반적인 현상으로 보고된 바 있으며 본 연구의 결과에서도 이를 확인할 수 있었다.

한편 수면중 cortisol 농도 변화는 모든 집단이 수면 직전에서 02시까지 약간 감소하다가 02시 이후부터는 서서히 증가하여 수면 후반부(04시)를 기점으로 급속히 증가하는 경향을 보였고, 과도한 운동 후에 유의하게 낮았다. 에너지 대사 측면에서 고려할 때 cortisol은 주로 탄수화물이나 지방의 이화작용을 통해 에너지 공급의 역할을 하지만, 수면중에는 에너지 동화작용이 더 활발하므로 일반적으로 cortisol의 기능이 억제될 것으로 추측한다.

결과에서 과도한 운동은 수면중 GH와 β-endorphin 분비의 감소를 야기하였다. 이는 일반적인 운동 스트레스 자극은 시상하부의 조절호르몬(CRH) 중의 하나인 성장호르몬-방출호르몬(growth hormone-releasing hormone : GHRH)을 증가시키며, 반대로 somatostatin은 감소시키기 때문에 GH와 β-endorphin이 증가하는 것이 일반적 기전이다. 그러나 이러한 과정에서 장시간의 과도한 운동 스트레스 자극은 인슐

린 양성인자 - I(IGF - I : insulin - like growth factor - I)의 분비를 촉진하여 GHRH에 지속적인 negative feed - back 작용을 야기한다. 장시간의 과도한 운동으로 인한 IGF - I의 증가는 GHRH를 억제하고 somatostatin의 분비를 증가시켜 결국 GH와 β - endorphin의 감소를 초래하는 것으로 사료된다.

또한 본 연구에서 주목할 만한 결과 중 하나는 운동 후 수면중에 cortisol과 GH 분비의 변화는 서로 상반된 유형으로 나타났다. 즉, 수면 전반부에서는 GH는 증가하고, cortisol은 현저히 감소하였지만, 수면 후반부에서는 GH가 현저하게 감소하고 cortisol은 급격히 증가하는 경향을 보였다. 이러한 이유로써 수면의 기능적 역할은 동화작용과 스트레스와 피로에 대한 회복이기 때문에 수면중 CRH의 조절 반응에 의해 GH는 증가하고, cortisol은 감소하는 길항적 반응을 보이는 것으로 알려져 있다(26,33,34). 이러한 특징은 효과적인 수면을 위한 내분비계의 반응이지만, 과도한 운동자극은 이러한 과정에서 항상성의 와해를 초래할 수 있는 것으로 추측된다. 즉, GH와 cortisol의 길항적 비율이 커질수록 수면의 질은 향상됨을 의미하지만, 본 연구에서는 운동량이 증가할수록 GH와 cortisol의 길항적 비율은 감소하는 것으로 나타나, 과도한 운동은 수면의 질과 신체회복 효과에 악영향을 초래할 수 있음을 시사한다.

결 론

운동량에 따라 sleep latency, total sleep time, stage 2 sleep의 양과 서파수면의 양은 집단간 유의한 차이가 없었다 ($p>0.05$). 그러나, 과도한 운동을 한 후에는 stage 1 sleep은 늘어나고, REM sleep은 감소하였고, stage 2 sleep latency와 REM sleep latency는 지연되었으며, 잠효율(sleep efficiency)이 저하되었다($p<0.05$). 반면, 적당한 운동을 했을 때는 깊은 수면에 빨리들고, 잠효율이 증가하였다.

과도한 운동량을 했을 때 수면 중 GH, testosterone, cortisol의 분비는 유의하게 감소하였으나($p<0.05$), 운동량에 따라서 β - endorphin의 분비는 유의하게 변화하지 않았다. 결과적으로 과도한 운동은 수면구조와 수면 중 호르몬 분비에 부정적인 영향을 미쳤으나, 중정도의 적당한 운동은 입면을 돕고, 수면의 질을 향상시켰다.

중심 단어 : 운동량 · 수면구조 · Growth hormone · Cortisol · Testosterone · β - endorphin.

References

1. Kales A, Kales J. "Evaluation, diagnosis and treatment of clinical conditions related to sleep." Journal of the American Medical Association 1970;213:2229-2235
2. Hartmann EL. The functions of sleep. New Haven: Yale University Press
3. Oswald I. Sleep as a restorative process: Human clues. Progress in Brain Research 1973;53:279-288
4. Hobson JA. Sleep after exercise. Science 1968;162:1503-1505
5. Matsumoto J, Nishisho T, Suto T, Sadahiro T, Miyoshi M. Influence of fatigue on sleep. Nature 1968;218:177-178
6. Shapiro CM, Griesel RD, Bartel PR, Joosste PL. Sleep patterns after graded exercise. J Appl Physiol 1975;39:187-190
7. Baekeland F, Lasky R. Exercise and sleep patterns in college athletes. Perceptual & Motor skills, 1966;23:1203-1207
8. Montgomery I, Trinder J, Paxton SJ. Energy expenditure and total sleep time: The effect of physical exercise. Sleep 1982;5:159-168
9. Smith GP, Jerone C, Cuslien BJ, Eterno R, Simansky KJ. Abdominal vagotomy blocks the satiety effect of cholecystokenin in the rat. Science 1981;213:1036-1037
10. Adamson L, Hunter WM, Ogunremi OO, Oswald I, Percy-Robb IW. Growth hormone increase during sleep after daytime exercise. Journal of Endocrinology 1978;62:473-478
11. Horne JA, Porter JM. Exercise and human sleep. Nature 1975;22: 69-78
12. Montgomery I, Trinder J, Paxton S, Fraser G. Aerobic fitness and exercise: effects on sleep of younger and older adults. Aust J Psychol 1987;39:259-272
13. Montgomery I, Trinder J, Paxton S, Fraser G, Meaney M, Koerbin G. Sleep disruption following a marathon. J Sports Med 1985;25: 69-74
14. Torsvall L, Akerstedt T, Lindbeck G. Effects on sleep stages and EEG power density of different degrees of exercise in fit subjects. Electroencephogr. Clin Neurophysiol 1984;57:347-353
15. Bunnell DE, Bevier W, Horvath SM. Effects of exhaustive exercise on the sleep of men and women. Psychophysiology 1983;20:50
16. Kupfer D, Sewitch DE, Epstein LH, Bulik C, McGowen CR, Robertson RJ. Exercise and subsequent sleep in male runners: failure to support the SWS-mood-exercise hypothresis. Neuropsychobiology 1985;145:5-12
17. Takahashi Y. Growth hormone secretion related to the sleep waking rhythm. In the functions of sleep, edited by Drucker-Colin R, Shkurovich M, and Sterman MB. New York: Academic Press, 1979
18. Obal F, Payne L, Kapas L, Opp M, Krueger JM. Inhibition of growth hormone-releasing factor suppesses both sleep and growth hormone secretion in the rat. Brain Research 1991;557:149-153
19. Roffwarg HP, Sachar EJ, Halpern F, Hellmann L. Plasma testosterone and sleep: relationship to sleep stage variables. Psychosom Med 1982;44:73-84
20. Kern W, Perras B, Wodick R, Fehm HL, Born J. Hormonal secretion during night time sleep indicating stress of daytime exercise. J Appl Physiol 1995;79(5):1461-1468
21. Hackney AC, Ness RJ, Schreiber A. Effects of endurance exercise on nocturnal hormone concentrations in males. Chronobiol Int 1989; 6:341-346
22. Zir LM, Smith RA, Paeker DC. Human growth hormone release in sleep: effect of daytime exercise. J Clin Endocrinol 1971;32:662-665
23. Davies BC. Shapiro AM. Daggett J, Gatt A, Jakeman P. Physiological changes and sleep responses during and following a world record continuous walking record. Br J Sports Med 1984;18:173-180
24. Weltman A, Weltman YJ, Schurrer R, Evans SW, Veldhuis DJ, Rogol DA. Endurance training amplifies the pulsatile release of growth hormone: effects of training intensity. J Appl Physiol 1992;72: 2188-2196
25. Kindermann W, Sdhnabel A, Schmitt WM, Biro G, Cassens J, Weber

F. Catecholamines, GH, cortisol, insulin and sex hormones in anaerobic exercise. European Journal of Applied Physiolohy 1982;49: 389-399
26. Luger A, Deuster PA, Gold PW, Loriaux DL, Chrousos GP. Hormonal responses to the soress of exercise. Adv Exp Med Biol 1988;245: 273-280
27. Kraemer WJ, Gordon SE, Fleck SJ, Marchiteli LJ, Mello R, Dziados JE, Friedl K, Harman E, Maresh C, Fry AC. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. Int J Sports Med 1991;12:228-235
28. Driver JS, Rogers G G, Mitchell D, Borrow SJ, Allen M, Luus HG, Shapiro CM. Prolonged endurance exercise and sleep disruption. Med Sci Sports Exerc 1994;26(7):903-907
29. Born J, Muth S, Fehm HL. The significance of sleep onset and slow wave sleep for nocturnal release of growth hormone and cortisol. Psychoneuroendocrinology 1988;13:233-243
30. Morville R, Pesquies PC, Guezzenec CY. Plasma variations in testicular and adrenal androgens during prolonged physical exercise in man. Ann Endocrinol 1979;40:501-510
31. McConnie SE, Barkan A, Lampman RM, Schork MA, Beitins IZ. Decreased hypothalamic honadotropin-releasing hormone secretion in male marathon runners. N Engl J Med 1986;315:411-417
32. Petraglia F, Vale W, Rivier C. Opioids act centrally to modulate stress-induced decrease in luteinizing hormone in the rat. Endocrinology 1986;119:2445-2450
33. Unterman TG, Phillips LS. Glucocorticoid effects on somatomedins and somatomedin inhibitors. J Clin Endocrinol Metab 1985;61: 618-623
34. Spth-Schwalbe E, Hundenborn C, Kern W, Fehm HL, Born J. Nocturnal wakefulness inhibits release of growth hormone(GH) stimulated by GH-releasing hormone. J Clin Endocrinol Metab 1995;80: 214-219