운동선수에 있어서 잠수서맥에 관한 연구

충남대학교 의과대학 생리학교실

박해근 · 임현재 · 이경렬* · 박찬희* · 김종철*

=Abstract=

Studies on the Diving Bradycardia in the Athletes

Hae Kun Park, Hyen Jae Lim, Kyung Youl Lee*, Chan Hee Park* and Jong Chul Kim*

Department of Physiology, Chungnam National University School of Medicine, Tae Jeon, Korea

In an attempt to clarify the influence of lung volume and water temperature on the heart rate response during apneic face immersion in the trained athletes, 10 soccer players were studied while holding their breath as long as possible after full inspiration(TLC), full expiration(RV) or normal breath(FRC) with face immersion in water. The electrocardiogram(Lead II) was recorded before and during each manuever and compared with 20 control subjects.

The results are summarized as follows;

1) Resting heart rate was significantly lower in the athletes than that of the control groups.

2) During apneic face immersion, severe bradycardia were observed in both groups and the heart rate was significantly lower in the athletes than that of the control groups.

3) The degree of the bradycardia (maximum percent reduction of heart rate, HRmax.) were inversely propotional to the lung volume and water temperature.

In the above results, bradycardial response was more sensitive in the athletes than the control. It was suggested that diving bradycardia was related to the gas content in the lung and reflex from the cold receptor in the face.

I. 서 론

동물이 잠수하였을 때 일어나는 특수한 생리적 변화는 심박동수(Heart rate)의 저하이다. 1870년에 Paul Bert가 물오리에서 잠수서맥(Diving bradycardia)이 일어나는 것을 처음 보고한 이래, 많은 연구자들[1~4]에 의해 잠수동물에서의 잠수서맥이 관찰되었으며[5~7] 인간에 있어서의 이런 현상도 이미 많이 보고되었다[8~10] 그러나, 이와같은 잠수서맥은 실험실에서의 단순한 호흡지식(breath holding)이나 안면잠수(face immersion) 등의 방법에 의해서도 일어난다[11~16]. 이같은 간단한 조작에 의한 호흡지식 잠수서맥(apneic or diving bradycardia)의 성상이 최근 많이 보고되고 있으며, 여러가지 가설도 제창되고 있다[6,8,12,14,15]. 이런 잠수서맥에 관한 연구는 대부분이 잠수경험이 적은 사람에게서 얻은 것이 대부분이나 Hong 등[9,13] 및 Corriol and Rohner 등[16]에 의해 잠수서맥이 잠수업무에 종사하고 있는 잠수부들에게서 잠수훈련에 의하여 더욱 현저히 나타난다는 사실도 보고되었다. 이러한 잠수서맥의 기전에 대하여 Irving 등[10,17]과 Scholander 등[1,18~20]은 체내에 산소저장을 도와주는 'diving reflex'의 결과라고 주장하였으며, 또 다른 연구자들은 이 반사를 코, 얼굴, 혹은 흉곽의 근육에 있으리라 생각되는 알려지지 않은 말초의 수용기에서의 구심성 신호에 의

* 의과대학 재학생

하여 이루어지는 것이라 하였다[5,6,11,14,21]. 한편 Craig[8,15] 및 연구자들[22,23]은 호흡지식 기간 동안에 diving reflex 보다는 오히려 심·맥관계의 기계적 및 혈류역학적 성상의 변화가 Bradycardia의 기전이라고 설명하고 있다. 또한 잠수서맥 현상이 수온에 의해서도 영향을 받는다는 사실이 널리 알려져 있으며[9,12,13,15,21], 특히 Kawakami 등[11]은 얼굴에 있는 cold receptor가 가장 효과적인 잠수서맥의 triger이고, 호흡지식에 따른 저산소(hypoxia)에 의한 hypercapnea가 잠수서맥을 유지하는데 크게 영향을 줄 것이라 하였다. Song 등[12]은 잠수서맥의 기전에 대하여 연구하고 잠수서맥이 잠수에 의한 호흡지식, 잠수, 폐용적을 통한 흉곽수용기, 그리고 안면잠수에 의한 cold receptor 등이 심장억제중추를 자극하여 이루어진다는 'multiple factor theory'를 제창하였다.

이에 朴등[24]에 의해 '호흡중추의 감수성 저하 및 운동 훈련에 의한 서맥'등이 현저한 적응을 이루고 있는 것으로 판명된 운동 선수에 있어서의 잠수서맥을 관찰하고 정상인과 어떠한 차이가 있는가를 비교하여 잠수서맥이 어떤 기전에 의하여 일어나는 가를 규명하고저 본 연구에 착수하였다. 이에 건강한 정상 대조군으로서는 의과대학 학생을, 운동선수군으로는 운동을 계속하고 있는 대학교 축구 선수들을 대상으로 하였다. 실험은 실험실 내에서 호흡지식 안면잠수를 실시하고, 심전도를 Physiograph(Narco Bio system, Four A)에 계속 기록하여 심박동수의 변화를 측정하였으며 일부 잠수서맥의 기전을 규명하고저 안면잠수 호흡 지식시에 수온 및 폐의 용량에 변화를 시켰다.

Ⅱ. 연구대상 및 방법

1) 피검자

본연구의 피검자로는 대조군으로 건강한 의과대학 학생 20명을, 운동선수군으로 현재 훈련을 계속하고 있는 대학교 축구선수 10명을 각각 선정하였다. 축구 선수 10명은 모두 7년 이상 축구선수로서 훈련을 쌓아온 학생으로 피검자의 연령, 신장, 체중은 제 1 표에 기재한 바와 같다.

2) 방 법

피검자들의 신체적 특성을 비교하기 위하여 피검자의 신상카드를 작성한 다음, 피하지방의 정도를 측정하기 위하여 Best Caliper[25]에 의한 '피부 두겹집기법'으로 Back of the thigh, subscapula, Abdomen 및 Suprailic 등 네 곳의 피부두께를 재어 Yahasz[26]의 수식 〔지 방(%)=5.783+0.153×총 피부두겹두께(mm)〕에 대입하여 피하지방의 체중에 대한 백분비를 산출하였다.

또한 각종 폐용적 및 환기능을 측정하였는데 '폐용적'은 spirometer(collins, 9 *l*)로 '잔기량'은 Rhan 등[27]이 고안한 '3회 호흡법(three breathing method)'으로 측정하였다. 폐의 환기능중 '최대 환기능(MVV)'의 측정은 spirometor를 사용하여 피검자가 최대의 노력으로 12초간 호흡을 하도록 시켜(호흡수는 80~100번/min) 1분간의 값으로 환산하였으며 3회 실시하여 그중 큰 값을 선택하였다. '초시폐활량(F.E.V)' 및 '최대중간호기기류량(M.M.F)'은 spirometer를 사용하여 피검자로 하여금 최대로 흡입한 다음 최대의 노력으로 호출케하여 얻은 '노력성 최대호흡곡선(forced expiratory volume curve, F.E.V)'으로부터 각각 산출하였으며 폐활량에 대한 백분비도 산출하였다. 이상에서 측정한 '폐용적' 및 '폐의 환기능'은 모두 B.T.P.S로 환산하였으며, '폐활량' 및 '최대환기능'은 Baldwin[28]의 '표준치예측수식'에서 얻은 표준치와 비교 각각 백분비를 산출하였다.

'폐용적' 및 '최대환기량' 측정이 끝난 후 20분 이상 휴식시킨 후에, 피검자에게 심전도 측정을 위한 적극을 표준유도(lead Ⅱ)로 고정시킨 다음 앞으로 굽힌 자세로 앉아서 호흡하면서 안정시의 정상적인 심박동수를 측정하였다. 심전도를 계속 Physiograph(Norco Bio system, Four A)에 묘기하면서(2 mm/sec의 paper speed) 가능한한 오래도록 안면잠수상태에서 호흡지식을 시켰다. 이때 수온을 30°C, 10°C 및 4°C로 변화시켜 보았으며 각각의 온도에서 '폐용적'을 '잔기량(R.V)' '보통호기(F.R.C)' 및 '최대흡기상태(T.L.

Table 1. Physical Characteristics of Subjects Mean±SE

	No. of subjects	Age (yrs)	Ht. (cm)	Wt. (kg)	BSA (m^2)
Control	20	21.0±0.3	170±1.0	61.1±1.5	1.71±0.02
Athletes	10	20.3±0.3	172±1.3	64.7±1.8	1.77±0.02

Table 2. Skinfold Thickness and Subcutaneous Fats Mean±SE

	Skinfold thickness(mm)					Fats(%) to BW
	Triceps	Subscapula	Suprailiac	Abdomen	Mean	
Control	8.6±0.9	8.3±0.6	6.0±0.9	7.3±1.5	7.3±0.9	10.2±1.1
Athletes	6.9±0.5	7.2±0.5	6.4±0.7	5.7±0.6	6.6±0.3	9.7±0.8

Table 3. Forced Expiratory Volume(FEV) Mean±SE

	F.E.V.t (% to vital capacity)			
	0.5 sec.	1.0 sec.	2.0 sec.	3.0 sec.
Control	58.9±0.8	84.8±0.5	96.4±0.3	99.3±0.1
Athletes	57.9±1.2	82.6±1.1	94.9±0.7	99.4±0.2

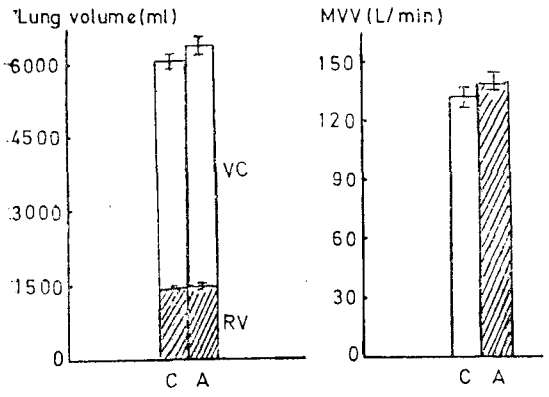

Fig. 1. Lung volume and maximum voluntary ventilation(M.V.V) in control group(C) and athletes(A).

C)'로 변화시키며 실시하였다. 한 조작이 끝날 때마다 10분 이상 휴식시키면서 9회의 실험을 하였고 호흡지식 안면잠수 시의 심박동수의 최대변동과 차이 및 최대심박수저하율〔△HR max(잠수전후차/안정시 심박수×100)%〕을 계산하여 비교하였다.

Ⅲ. 연 구 성 적

1) 피검자의 신체적 특성

피검자는 대조군 20명과 운동선수군 10명, 총 30명이었으며 제 1 표에 기재한 바와같이 연령, 신장, 체중 및 체표면적이 두 군에서 서로 일치하였다. '피부 두겹 두께'는 대조군이 평균 7.32±0.93 mm 이었고, 선수군이 6.56±0.30 mm 로서 피하지방량의 체중에 대한 백분비는 각각 10.2 및 9.7%로서 선수군에서 약간 낮은 경향이 있었다(제 2 표).

2) 폐용적 및 폐환기능의 측정성적은 제 1 도에 도시한 바와 같다. 즉, 폐용적중 잔기량은 양군에서 1400 ml 정도로 차이가 없었으며, '폐활량'은 대조군과 선수군에서 각각 4667±111및 4910±138 ml 이었고, Baldwin 등[28]의 표준치에 대한 백분비는 각각108.4±2.2% 및 112.4±2.2%로서 선수군에서 약간 높았다. 따라서 '전폐용적(T.L.C)'은 선수군에서 6390±204 ml 로서 대조군의 6067±157 ml 에 비하여 높은 경향이 있었다.

한편, 환기능의 지표가 되는 '최대환기능(M.V.V)'은 선수군에서 140.0±4.4 L/min 으로 대조군의 131.6±5.0 L/min 에 비하여 약간 높았으나 Baldwin 등[28]의 표준치에 대한 백분비는 각각 101.5±3.3 및 104.5±2.6%로서 의의있는 차이는 없었다. '초시폐활량(F.E.V)'은 '최대 환기능'에서와 동일하게 대조군에서는 0.5, 0.1 및 3초의 값에서 각각 58.9±0.8%, 84.8±0.5% 및 99.3±0.1%이었고 선수군에서는 각각 57.9±9%, 82.6±1.1% 및 99.4±0.2%로 대조군과 선수군에서 일치하였다(Table 3).

3) 호흡지식 안면잠수 시의 심박동수의 변동

호흡지식 안면잠수(apneic face immersion)시의 심박동수는 안정시에 비하여 여러가지 조건하에서 매우 낮아지는데 대조군 및 선수군의 전형적인 실험예를 제 2 도 및 제 3 도에 각각 표시하였다. 이 그림에서 보는

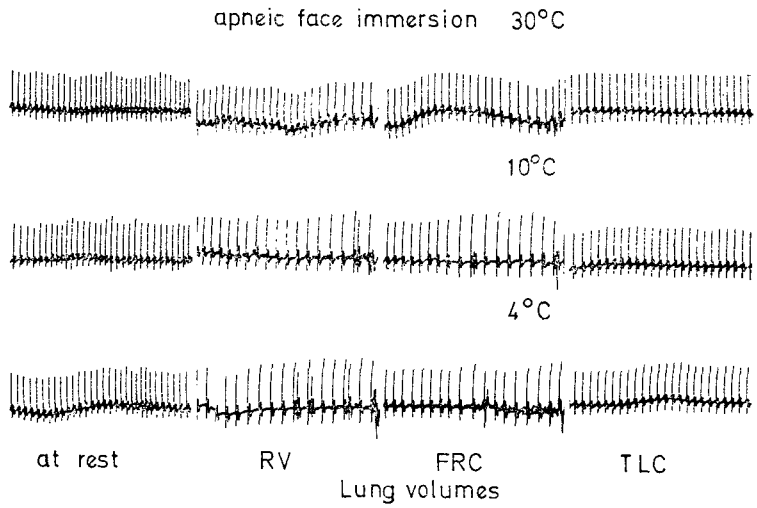

Fig. 2. Typical example in the control group on the heart rate changes at rest and during apneic face immersion with various lung volumes and watertemperature. Control

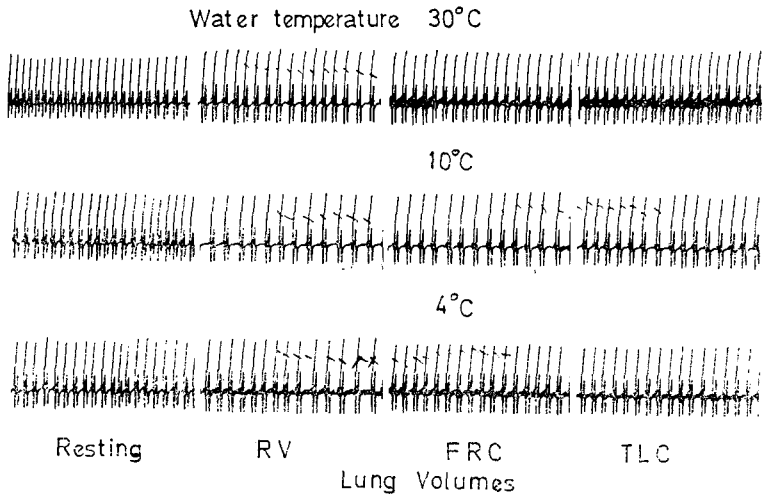

Fig. 3. Typical example in the athlete on the heart rate changes at rest and during apneic face immersion with various lung volumes and water temperatures. Atheltes.

바와 같이 양군에서 모두 호흡지식 안면잠수로서 현저한 심박동수의 저하를 나타내고 있다. 특히 수온이 낮을수록 잠수서맥이 현저하였다. 호흡지식 안면잠수시의 충피검자에서 얻은 심박동수의 평균 성적은 제 4표, 제 5표 및 제 6표에 총괄 기재하였다. 즉, 안정시의 심박동수는 대조군에서 매분 83.0±2.5회였고, 선수군은 66.2±2.3회로서 선수군에서 의의있게($p<0.001$) 낮았다. 제 4표에서 보는 바와 같이 '전폐용적(T.L.C)' 상태에서 호흡지식 안면잠수 전후의 심박동수는 30°C의 수온에서 대조군이 매분 83.0±2.5회에서 63.6±1.6회로, 선수군이 66.2±2.3회에서 52.8±1.8회로 현저히 저하되어 '최대심박수 저하율(△HR max.%)은 각각 21.9±2.1% 및 19.8±2.3%의 의의있는 저하를 나타냈으며, 10°C의 수온 및 4°C의 수온에서는 심박동수가 더욱 현저하게 낮아져 10°C에서는 '최대심박수 저하율'이 27.2±2.0% 및 28.6±1.5%,

Table 4. Heart Rate Changes at Rest and During Apneic Face Immersion with T.L.C.
Mean±SE

Watsr temp. °C	Group	Heart rate (beats/min.)			%△HR max.
		rest	immersion	difference	
30	Control	83.0±2.5	63.6±1.6	18.8±2.2	21.9±2.1
	Athletes	66.2±2.3	52.8±1.8	13.3±1.7	19.8±2.3
10	Control	81.8±2.6	53.3±3.8	23.0±2.3	27.2±2.0
	Athletes	68.9±3.9	48.3±2.9	20.8±1.8	28.6±1.5
4	Control	81.8±2.7	55.8±1.8	26.6±2.0	31.0±1.8
	Athletes	69.3±3.3	48.2±2.2	21.1±1.9	30.1±1.8

Table 5. Heart Rate Changes at Rest and During Apneic Face Immersion with F.R.C.
Mean±SE

Water temp. °C	Group	Heart Rate (beats/min.)			△HRmax. (%)
		rest	immersion	difference	
30	Control	82.3±2.3	61.0±1.7	21.1±2.1	25.4±2.1
	Athletes	68.3±3.0	53.9±3.1	14.1±1.9	20.2±2.8
10	Control	79.4±2.5	52.3±1.9	27.1±3.1	33.0±2.9
	Athletes	65.9±3.6	44.7±2.2	21.2±2.6	31.3±3.1
4	Control	81.8±2.3	47.2±1.8	34.6±2.2	42.0±1.9
	Athletes	69.0±4.1	44.9±2.6	24.1±3.1	33.9±3.6

Table 6. Heart Rate Changes at Rest and During Apneic Face Immersion with R.V.
Mean±SE

Water temp. °C	Group	Heart Rats (beats/min.)			△HRmax. (%)
		rest	immersion	difference	
30	Control	82.6±1.8	63.5±2.5	19.2±2.1	23.1±2.6
	Athletes	68.0±3.2	54.1±3.3	13.9±2.4	20.3±3.4
10	Control	77.3±2.3	52.6±2.1	24.6±2.2	31.5±2.5
	Athletes	69.5±3.2	44.6±2.7	24.9±2.8	35.4±3.3
4	Control	81.3±2.8	48.9±2.2	32.4±2.7	39.3±2.6
	Athletes	66.5±2.7	43.1±2.2	22.4±2.5	34.9±3.9

4°C 에서는 대조군이 81.8±2.7회에서 55.8±1.8회로 선수군 이 69.3±3.3회에서 48.2±2.2회로 현저한 저하를 나타 내어 '최대심박수 저하율'이 각각 31.0±1.8및 30.1± 1.8%의 저하를 나타냈다. 또한 안면잠수 시에도 심박 동수는 선수군에서 모든 온도하에서 낮았으며, 30°C 에서는 의의있는 차이였으나 10°C와 4°C에서는 의의있 는 차이가 없었다.

안정 호기위인 '기능적잔기용량(F.R.C)' 상태에서의 안면잠수 호흡지식 전후의 심박동수의 변동은 제 5 표에서 와 같다. 즉 30°C 수온에서 대조군은 심박동수가 매분 82.3±2.3회에서 61.0±1.7회로 그리고 선수군에서는 68.3±3.0회에서 53.9±3.1회로 현저히 저하되어 '최대심박수 저하율'이 25.4±2.1% 및 20.2±2.8%였고 10°C수온일 때는 33.0±2.9% 및 31.3±3.1%였으며, 4°C의 수온에서는 42.0±1.9% 및 33.9±3.6%로서 수온이 낮아질수록 잠수서맥 현상은 더욱 현저하-

였다.

잔기량(R.V) 상태에서의 잠수서맥 현상은 제 6 표에 기재하였는데 '기능적 잔기용량(F.R.C)'상태에서와 유사하였다. 호흡지식 안면잠수 전후의 심박동수의 차는 30°C 수온에서 대조군이 82.6±1.8회에서 63.5±2.5회로 선수군에서는 68.0±3.2회에서 54.1±3.3회로 각각 현저히 저하되었으며 '최대심박수 저하율'이 각각23.1±2.6% 및 20.3±3.4%였고, 10°C에서는 대조군이 77.3±2.3에서 52.6±2.1회로, 선수군이 69.5±3.2회에서 44.6±2.7회로, '최대심박수 저하율'이 31.5±2.5% 및 35.4±3.3%였다. 4°C에서는 대조군에서 81.3±2.8회에서 48.9±2.2회로, 선수군이 66.5±2.7회에서 43.1±2.2회로 현저히 저하되었으며, '최대심박수저하율'이 각각 39.3±2.6% 및 34.9±3.9%로서 의의있는 잠수서맥 현상을 나타냈다. 대부분의 경우 선수군과 대조군의 심박동수는 의의있는 차이가 있었다.

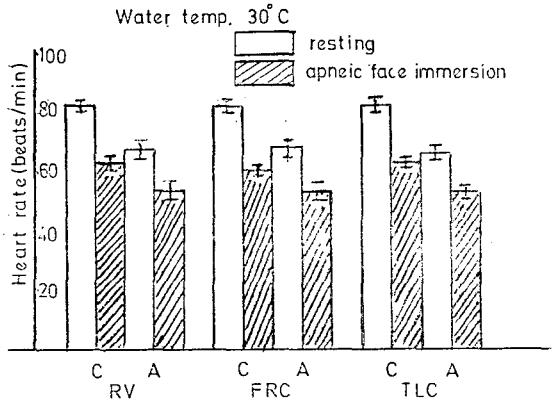

Fig. 4. Heart rate changes at rest and during apneic face immersion with vaious lung volume.

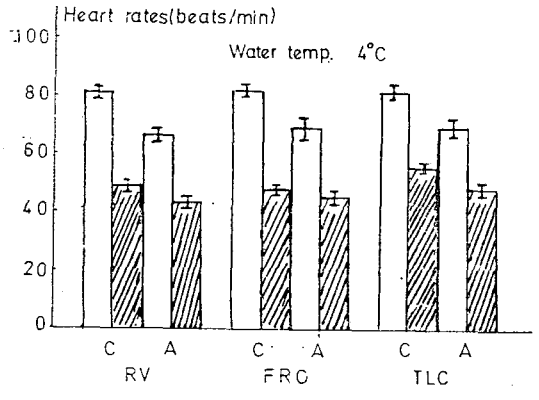

Fig. 5. Heart rate changes at rest during apneic face immersion with various lung volumes.

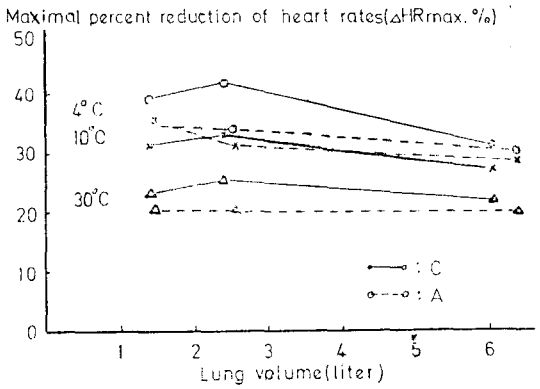

Fig. 6. Maximal percent reduction of heart rates during apneic face immersion incontrol group and athletes.

이상의 성적들을 제 4 도 및 제 5 도에 수온이 각각 30°C와 4°C일 때에 심박동수의 변화를 도시하였으며 제 6 도에 폐용적과 수온의 변동으로 인한 '최대심박동수 저하율'을 도시하였다. 이 그림에서 보는 바와 같이 폐용적이 적을 때 가장 현저한 잠수서맥 현상을 관찰할 수 있었으며, 수온이 30°C에 비하여 10°C이하에서 더욱 현저한 잠수서맥 현상을 볼 수 있었다. 또한 일반적으로 선수군에서는 비선수군에서 보다 안정시의 심박동수가 낮은 반면 현저한 잠수서맥을 초래하였으나 '최대심박수 저하율(△HR max. 1%)'은 선수군에서 낮았다.

Ⅳ. 고

잠수서맥 현상은 이미 널리 알려진 사실이며 그 기전에 관한 연구가 많이 보고되고 있으나 정확한 기전에 대해서는 아직도 미상이다. 현재까지 알려진 기전으로는 "신경반사설"(neural reflex theory)[17~20]과 "기계적설"[8,15,21~23]을 들 수 있겠으며 서맥현상이 단순호흡지식으로도 초래되나 안면잠수로서 더욱 현저하게 나타남은 Kawakami 등[11] 및 Song 등[12]이 제창한 바와 같이 얼굴의 cold receptor를 통한 반사로 생각된다. 잠수서맥(Diving bradycardia)이 단순호흡지식에 의한 서맥(bradycardia)의 정도가 오랜 기간에 걸쳐 잠수에 신체적 적응이 된 잠수부에서 더욱 현저히 일어

나며[11~13,21,29,30] 단순호흡지식을 할때보다 호흡지식 안면잠수(apneic face immersion) 시에, 더운물에서보다 찬물에 안면잠수 할때 더욱 현저한 상태로 미루어, 이는 Diving reflex의 한 형태로서 생명체가 환경에 적응하여 energy를 보존하는 방법이라고 믿어진다.

운동선수들은 신체 훈련을 통하여 순환계 및 호흡계 기능에 독특한 적응을 이루고 있는데, 특히 안정시의 심박동수와 혈압이 낮고 호흡중추의 Co_2에 대한 감수성이 저하되어 있는 등(朴동[24]) 운동수행에 있어서도 정상인에 비하여 많은 적응을 이루고 있다. 본 연구에서 운동선수들의 신체적 특성은 대조군과 모두 일치하였으며 폐용적 및 환기기능도 동일하였고, 보고된 정상 한국인의 성적과 일치하였다[朴 및 金[31], 朴동[32]] 안정시 심박동수는 선수군에서 대조군에 비하여 의의있게 낮았는데 이는 운동훈련으로 인한 적응의 결과로 널리 알려진 사실이다.

호흡지식 안면잠수에 의한 잠수서맥의 정도는 안정호기위상태(F.R.C), 10°C의 수온에서 심박동수가 대조군은 매 분 79.4회에서 52.3회로, 선수군에서는 65.9회에서 44.7회로 저하되어 최대심박수저하율(△HR max)은 각각 33.0% 및 31.3%로서 모두 30%이상의 저하를 나타내었다. 대조군의 성적은 Kawakami 등[11] 및 Song 등[12]의 보고와 일치하였으며, 선수군에서는 정상인보다 심박수가 낮은 안정시에 잠수서맥현상이현저히 나타났으나 비율로 따진 최대심박수저하율(△HR max)은 오히려 대조군보다 낮았다. 따라서 선수군에서의 회흡지식 안면잠수를 할 때의 잠수서맥 현상은 대조군에 비하여 의의있는 차이를 나타냈다.

한편 잠수서맥 현상은 Hong 등[12] 및 Angelone과 Coulter[33]에 의한 보고에서 단순호흡지식시의 폐용적과 심박동수가 역상관이 있음을 지적하고, 폐 및 흉곽에 존재하리라는 stretch receptor에 의한 reflex라고 하였듯이, 기계적 자극에 의하여 영향을 받는다. 그러나 본 연구에서 10°C의 물에 호흡지식 안면잠수를 할 때 전폐용적(T.L.C), 정상호기(F.R.C) 및 잔기량(R.V)의 각각의 상태에서 최대심박수저하율(△HR max)이 대조군에서는 27.2±2.0, 33.0±2.9및 31.5±2.5%였고, 선수군에서는 28.6±1.5, 31.3±3.1 및 35.4±3.3%로 나와 전폐용적상태에서 잠수서맥 현상이 가장 낮았으며 잔기량 상태에서 가장 현저하였다. 한편 Openshaw와 Woodroof[34]는 서맥현상이 단순호흡지식 때보다 안면잠수로서 더욱 현저하다고 하였으며, 특히 심박동수의 저하정도는 호출시보다 흡입시에 현저하다고 하였는데 본 연구에서 폐용적이 낮을수록 더욱 현저한 것과 비교하면 차이가 있었다. 즉, 폐용적이 적을수록 폐내의 산소량이 적을수록 또한 CO^2 축적이 높을수록 잠수서맥이 현저하였는데 Kawakami 등[11]에 의해 폐내의 CO_2축적이 잠수서맥의 원인이 될 수 있다고 한 보고와 비교할 때 일치하는 현상이라고 사료되는 바이다.

V. 결 론

잠수시에 특수한 생리적 기능의 변화는 잠수서맥(diving bradycardia) 현상이다. 훈련을 받은 운동선수에서 이와같은 현상을 관찰하고 대조군과 비교함으로서 잠수서맥의 기전의 일부를 규정하고저 본 연구에 착수하였다.

운동선수로서 대학생 축구선수 10명과 대조군으로서 동일연령의 대학생을 대상으로 몇가지 폐용적 및 수온에서 호흡지식 안면잠수시에 심전도를 physiograph상에 기록함으로서 심박동수를 측정하고, 다음과 같은 성적을 얻었다.

1. 모든 신체적 특성은 양군간에 차이가 없었다.
2. 안정시의 심박동수는 선수군에서 의의있게 낮았다.
3. 호흡지식 안면잠수(Apneic face immersion)시에 양군 모두 현저한 잠수서맥을 나타냈으며 선수군에서 대조군에 비하여 더욱 현저하였다.
4. 잠수서맥 현상은 폐용적이 낮을수록, 그리고 수온이 낮을수록 현저하였다.

이상의 성적으로 미루어 보아 잠수서맥은 신체훈련으로 심폐기능이 적응된 선수에서 더욱 예민하였고, 폐내의 기체조성 및 안면의 cold receptor에 의한 반사로 이루어진다고 사료되는 바이다.

REFERENCES

1) Scholander, P.F.: *Experimental investigations on the respiratory function in diving mammals and birds. Hvalradets Skrifter Norske Videnskaps-Akad. Oslo., 22:1-131, 1940.*
2) Irving, L., and M.O. Orr: *The diving habits of the beaver. Science, 82:569, 1935.*
3) Koppanyi, T. and M.S. Dooley: *Submergence and postural apnea in the muskrat. Amer. J. Physiol., 88:592, 1929.*
4) Scholander, P.F. and L. Irving: *Experimental*

investigation on the respiration and diving of the Floridamanatee. J. Cell. and Comp. Physiol., 17 :169, 1941.

5) Anderson, H.T.:*Physiological adaptation in diving vertebrates. Physiol. Rev., 46:212-243, 1966.*

6) Elsner, R.W., Franklin, R.L.,Van Citters, and D.W. Kenny.: *Cardiovascular defense against asphyxia. Science, 153:941-949, 1966.*

7) Irving, L., Scholander, P.F. and Grinnel, S.W.: *The regulation of arterial blood pressure in the seal during. diving. Amer. J. Physiol.,135:557-566, 1942.*

8) Craig, A.B., Jr.: *Effect of submersion and pulmonary mechanics on cardiovascular function in man. In Physiology of Breath-Hold Diving and the Ama of Japan, edited by H.Rhan, Washington, D.G.: Natl, Acad. Sci.-Natl. Res. Council, 1965, Publ. 1341, p.295-302.*

9) Hong, S.K., Song, S.H., Kim, P.K. and Suh, C.S.: *Seasonal observations on the cardiac rhythm during diving in the Korea Ama. J. Appl. Physiol., 23:18-22, 1967.*

10) Irving, L.: *Bradycardia in human divers.J.Appl. Physiol., 18:489-491, 1963.*

11) Kawakami, Y., Hatelson, B.H. and DuBois, A.B.: *Cardiovascular effects of face immersion and factors affecting diving reflex in man. J. Appl. Physiol., 23:964-970, 1967.*

12) Song, S.H., Lee, W.K., Chung, Y.A. and Hong, S.K.: *Mechanism of apneic bradycardia in man. J. Appl. Physiol., 27:323-327, 1969.*

13) Hong, S.K., Moore, T.O., Seto, G., Park, H.K., Hiatt, W.R. and Bernauer, E.M.: *Lung volumes and apneic-bradycardia in divers.J.Appl.Physiol., 29:172-176, 1970.*

14) Brick, I.: *Circulatory response to immersion the face in water. J.Appl.Physiol.,21:33-36, 1966.*

15) Craig, A.B., Jr.: *Heart rate responses to apneic-underwater diving and to breath holding in man. J.Appl. Physiol., 18:854-862, 1963.*

16) Corriol. J.H. and Rohner. J.J.: *New fact about bradycardia in breath. holding divers Rev. Subaquat. Physiol., 1:24-27, 1968.*

17) Irving, L.: *Changes in the blood flow through the brain and muscles during the arrest of breathingAmer. J.Physiol., 122:207-214, 1938.*

18) Scholander, P.F.: *Physilogical adaptation to diving in animals and man. Harvey lecture Ser., 57:93-110, 1961-1962.*

19) Scholander, P.F.: *Themaster switch of life. Sci. Am., 209:92-106, 1963.*

20) Scholander, P.F., Mammal, H.T., *Messurier*, H., Hemiagser, E. and Garey, W.: *Circulatory adjustment in pearl divers. J.Appl. Physiol., 17: 184-190, 1962.*

21) Pauler, P.E.: *Cardiac rhythm during breath holding and water immersion in man. Adta Physiolol. Scand., 73:139-150, 1968.*

22) Harding, P.E., Doman, D. and Whelan, R.F.: *Diving bradycardia in man. J.Appl.Physiol.,London, 181:401-409, 1965.*

23) Raper, A.J., Richardson, D.W., Kontos, H.A. and Patterson, J.L., Jr.: *Circulatory responses to breath holding in man. J. Appl. Physiol., 22: 201-206, 1967.*

24) 박해근, 박철빈, 윤경애 : 운동선수의 폐용적, 최대환기능 및 이산화탄소호흡시의 호흡및 순환계반응에 관한 연구. 대한생리학회지, *7:167-175, 1967.*

25) Best, W.R.: *An improved caliper for measurment of skinfoldthickness. J.Lab. Clin. Med.,40:967, 1954.*

26) Yuhasz. M.S.: *The efffect of sports training on body fat in man with prediction of optimal body weight. Urbanna,III:University of Illinois,1962.*

27) Rhan, H., Fenn, W.O. and Otis, A.B.: *Daily variation of vital capacity, residual volume and expiratory reverse in during a study of the residual air method. J. Appl. Physiol., 1:725, 1945.*

28) Baldwin, E.DeF.: Cournand, A. and Richards, D.W., Jr.: *Pulmonary insufficiency. I. Method of analysis, physiologic classification, standard values in normal subjects. Medicine, 27:243-278, 1948.*

29) Corriol, J., Rohner, J.J. and Fondarai, J.: *Origin et signification de la bradycardie chez le plongeur en apnée. Extrait Pathol. Biol., 14:*

1185-1191, 1966.

30) Whayne, T.F., Jr. and Killip III, T.: *Stimulated diving in man: Comparison of facial stimuli and response in arrhythmia.J.Appl. Physiol., 22:800-807, 1967.*

31) 박해근, 김광진 : 한국어린이및 청소년의 폐환 기능에 관한 연구. 대한생리학회지, *9:99-107, 1975.*

32) 박해근, 김광진, 성혜숙, 전병숙 : 최대환기능의간접측정법에 관한 연구. 대한생리학회지, *11:103-108, 1977.*

33) Angelone, A. and Coulter, N.A., Jr.: *Heart rate response to held lung volume. J.Appl. Physiol., 20:464-468, 1965.*

34) Openshaw, P.J.M. and Woodroof, G.M.F.:*Effect of lung volume on the diving response in man. J.Appl. Physiol., 45:783-785, 1978.*