

대학생의 스트레스 및 피로도가 운동 후 심박수 회복에 미치는 영향

<https://doi.org/10.32337/KACPT.2026.14.1.1>

대한심장호흡물리치료학회지 제14권 제1호 2026, PP.1-7

■ 이지연¹, 김진섭^{2*}

■¹경운대학교 물리치료학과, ^{2*}선문대학교 물리치료학과

Effects of Stress and Fatigue on Post-exercise Heart Rate Recovery in University Students

Ji-Yeon Lee PT, PhD¹, Jin-Seop Kim PT, PhD^{2*}

¹Department of Physical Therapy, Kyungwoon University

^{2*}Department of Physical Therapy, Sunmoon University

Purpose: This study aimed to compare and analyze the post-exercise heart rate recovery responses according to stress and fatigue levels in college students. **Methods:** College students from a university in South Chungcheong Province were assessed using a questionnaire that measures their stress and fatigue levels. They were subjected to perform the Harvard Step Test at a rate of perceived exertion of 11-13. Heart rate and oxygen saturation were measured before, immediately after, and 1, 3, and 5 minutes after exercise. The recovery rates were measured at each time point. **Results:** The high-stress group showed a significantly lower heart rate recovery (HRR) at 1 minute after exercise than the low-stress group (p value of <.05). The high-fatigue group showed a higher heart rate immediately after exercise and a significantly lower HRR at 5 minutes after exercise than the low-fatigue group (p value of <.05). The correlation analysis results showed that stress levels were positively correlated with HRR at 1 minute post-exercise and negatively correlated with HRR at 1 minute ($r=-.667$). Fatigue was also significantly negatively correlated with HRR at 5 minutes post-exercise ($r=-.424$). **Conclusion:** Stress and fatigue were found to negatively affect HRR after exercise. They should also be considered during exercise and rehabilitation. This suggests that HRR can be a useful assessment tool for physiological response indicators when developing exercise and recovery management plans.

Key words: Stress, Fatigue, Heart Rate, Heart rate recovery

Received: August 10, 2025 / **Revised:** August 20, 2025 / **Accepted:** August 20, 2025

I. 서론

현대사회에서 심리적 스트레스와 피로는 일상에서 흔하게 경험할 수 있으며, 이러한 문제들은 청소년기에서 성인기로 넘어가는 대학생들에게 발생하기 쉽다. 확대된 대인관계나 사회적 관계와 함께 심리적 갈등상황을 유발하며, 학업부담, 졸업 후의 취업난, 그리고 대학교육을 받으면서 높아진 삶의 기대치가 그들에게 스트레스와 피로를 가중시키고 있다.

젊은 성인의 스트레스와 피로는 서로 상호 관계가 있으며, 논문 작업과 같은 작업량의 증가는 높은 스트레스를 유발하고 이후 주관적인 피로감의 증가와도 연결성을 가진다(Doerr 등, 2015; Van Laethem 등, 2017). 또한, 어린 시절의 스트레스가 장기간

지속될 경우 정신적, 신체적 건강에 영향을 미칠 수 있는 주요인으로 작용한다(Cho 등, 2012).

이러한 심리적 스트레스나 피로는 자율신경계 기능 변화를 통해 신체적 회복에도 영향을 미칠 수 있다(Van Cauwenbergh 등, 2014). 스트레스나 부정적인 정서 자극들은 편도체의 활성화로 인해 부교감 신경이 억제되어 자율신경계 조절에 문제가 생길 수 있다(Blase 등, 2021; Thayer와 Lane, 2009). 이에 따라 급성 스트레스는 심박수, 혈압, 호흡수 등 주요 생리적 지표에 변화를 일으킨다(Huang 등, 2013; Rosenblum 등, 2025). 피로 또한 교감신경 항진과 부교감신경 활성 저하를 유발하여 심박수 회복 지연과 관련이 있는 것으로 보고되었다(Chen 등, 2023; Mizuno 등, 2014).

이 논문은 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(RS-2023-00275755)

*교신저자: 김진섭

주소: 31460 충청남도 아산시 탕정면 선문로 221번길 70 선문대학교, 전화: 041-530-2741, E-mail: skylove3373@sunmoon.ac.kr

심박수는 비교적 간단하게 측정 가능하여 많은 연구에서 중요하게 심장 기능을 평가하기 위한 생리학적 지표로 활용되고 있으며(Jolly 등, 2011), 특히 운동 후의 심박수 회복(Heart Rate Recovery, HRR)은 운동으로 자극된 교감신경 활동이 얼마나 빠르게 억제되고 부교감신경이 회복되는지를 보여주는 민감한 지표로, 정신적·신체적 스트레스 상태를 반영하는 민감한 지표임이 선행연구를 통해 제시되었다 알려져 있다(Imai 등., 1994; Pierpont 등, 2013).

운동 시 근육의 에너지 요구를 맞추기 위해 심박수, 심박출량 그리고 심근수축력이 증가되는데 이때 교감신경의 활성화와 미주 신경 분비의 감소된다(Javorka 등, 2002). 운동 종료 후 인체 내 에너지 수요는 감소되고 교감신경계의 억제 및 부교감신경계의 활성화로 심박수가 안정 상태로 회복하는데, 심박수는 처음 1~2분 동안 급격하게 감소하고 이후로는 점진적으로 감소하는 양상을 보인다(Pecanha 등, 2014).

운동 후 심박수의 회복 지연과 정상 범위 이상의 심박수는 부정맥, 심부전, 심실세동 등의 위험성을 높이고, 심한 경우 심근경색으로 인한 갑작스러운 심장 돌연사로 이어진다(Cole 등, 2000; Desai 등, 2001). 비정상적으로 지연된 운동 후 1분 또는 2분 내 심박수 회복 값은 심장 질환군 뿐만 아니라 건강한 일반인 군에서도 전체 사망률과 심혈관계 질환 관련 사망률을 증가시키는 독립적 위험인자로 제시되고 있다(Cole 등, 1999).

Stults-Kolehmainen와 Bartholomew(2012)는 일생의 스트레스가 근기능 회복을 저하시켜 스트레스와 피로가 회복반응에 영향을 미치며, 정서적, 신체적 스트레스는 근육회복에 영향을 미치며 스트레스 수준이 높을수록 1시간 내 회복경로가 느려졌다고 보고하였다. 만성 피로 증후군 환자군과 급성 피로감 유발 환경에서는 근육과 뇌의 산소포화 회복도가 지연되고, 심박변이도 감소 및 회복기 단계에서의 산소포화도 저하를 확인한 연구가 진행된 바 있다(Liu 등, 2020; Patrick Neary 등, 2008).

하지만, 스트레스와 피로수준이 HRR과 관련된다는 보고는 주로 임상 환자 군이나 고령자를 대상으로 이루어진 경우가 많아, 건강한 대학생 집단에서 이와 같은 관계를 검증한 연구는 여전히 부족하다. 또한, 좀 더 세분화하여 운동 후 시점별 심박수 회복률을 통합적으로 분석한 연구는 없었다. 따라서 본 연구의 목적은 성인 대학생을 대상으로 스트레스와 피로도 수준을 파악하고, 운동 후 심박수 회복의 차이를 분석하고, 이들 변인 간의 상관관계를 분석하고, 향후 대학생의 건강관리 및 운동 프로그램 설계 시 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 충남 소재의 S 대학의 건강한 대학생 25명을 대상으로 수행되었다. 대상자는 20-30대의 남녀 학생으로 Helsinki 선언의 윤리규정에 따라 연구의 목적과 절차에 대하여 설명을 듣고, 실험에 자발적으로 참여하기로 동의한 자로 선정하였다. 제외 기준으로는 최근 3개월 이내 심혈관계 또는 호흡기계 질환이 있거나, 가슴통증을 호소하는 자, 흉곽변형, 흉부의 외과적 수술 병력이 있는 자, 수면장애, 정신과적 약물 복용 이력이 있는 자였다. 연구 과정 중 개인 사정 및 건강상의 이유(발목 부상)으로 2명이 평가를 완료하지 못하여 탈락하였고, 최종적으로 23명이 포함되었다.

2. 연구 진행

연구 참여대상자의 일반적 특성(연령, 성별, 키, 몸무게)에 대한 기초 정보를 수집 후, 스트레스와 피로수준을 파악하는 설문을 실시하였다. 운동은 하버드 스텝박스 운동을 사용하였으며, 운동은 자각적 운동강도(RPE) 11-13(약간 힘들) 수준을 유지하면서 5분씩 3세트로 1회 수행하였고, 세트 간 1분 휴식시간을 가졌다. 운동 전 안정 상태와 운동 직후(0분), 운동 후(1분, 3분, 5분)에 심박수와 산소포화도를 측정하였다.

3. 측정 방법

1) 스트레스

대상자의 주관적 스트레스 수준은 Perceived Stress Scale-10(PSS-10)를 사용하여 평가하였으며, 총 10문항으로 구성되어 있으며, 5점 리커트 척도로 점수를 산출한다(0=전혀 아니다 ~ 4=매우 그렇다). 응답 점수를 합산하여 0-40점까지로 총점을 산출하며, 점수가 높을수록 스트레스 수준이 높은 것을 의미한다. 하지만 PSS는 진단 도구가 아니며, 공식적인 임계값이 없다. 따라서 중앙값 분할이나 상대적 분포 기반 분류는 연구 설계에서 합리적인 대안점으로 이전 연구들에서 적용된 바와 같이 PSS 점수의 중앙값(17점)을 기준으로 고·저 스트레스 군으로 분류하였다(Pizzagalli 등, 2007; Yuan 등, 2016).

2) 피로 심각도 척도도

피로도는 피로 심각도 척도(Fatigue Severity Scale; FSS)를 사용하였다. 총 9문항으로 구성되어 있으며, 전혀 그렇지 않다(1점)에서 매우 그렇다(7점)까지의 7점 리커트 척도로 점수를 산출한다. 응답점수를 합산하여 총점은 9~63점 사이의 범위를 가지며, 점수가 높을수록 피로수준이 심하고 지속적임을 의미한다.

피로도도는 Flachenecker 등(2002)에서 설명한 피로 심각도 척도의 임계값 36점을 사용하여 총점 기준 36점 이상은 고 피로군, 36점 미만은 저 피로군으로 분류하였다.

3) 심박수

심박수(Heart rate, HR)는 운동전 안정 상태, 운동 직후(0분), 운동 후 1분, 3분, 5분대에 측정하였다. 심박수 측정에는 자동 전자 혈압계를 사용하였으며, 각 시점별로 측정된 심박수 값은 아래의 계산 공식을 사용하여 각 시점별 심박수 회복률(Heart Rate Recovery, HRR)로 환산하였다.

- 심박수 회복률 ($HRR_{(회복시점)}$)

$$= \{HR_{(운동직후)} - HR_{(회복시점)}\} / HR_{(운동직후)} \times 100$$

3. 통계 분석

수집된 자료의 통계 분석은 SPSS Software version 22.0(IBM SPSS, Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였다. 모든 연속형 변수에 대하여 Shapiro-Wilk 검정을 통해 정규성(normality)을 확인하였다. 정규성을 만족하는 변수는 독립표본 t-검정(independent t-test)을 사용하여 군 간 차이를 분석하였고, 정규성을 만족하지 못한 운동 1분후 심박수 값은 비모수 검정으로 Mann-Whitney U 검정을 적용하였다. 스트레스와 피로도 수준, 심박수간의 상관관계는 Pearson 상관분석을 이용하여 검정하였으며, 정규성 검정을 만족하지 않은 값은 Spearman 상관분석을 적용하였다. 스트레스와 피로도 수준에 따른 군 간 비교에는 독립표본 t-검정을 사용하여 분석하였다. 통계적 유의수준은 0.05로 설정하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 대상자의 일반적 특성

연구에 최종 참여한 대상자는 총 23명으로 일반적인 특성은 표 1에 제시되었다.

Table 1. General Characteristics (N=23)

Variable	Mean±SD
Age(year)	22.52±1.34
Height(cm)	170.78±10.26
Weight(kg)	71.08±13.12
gender(male/female)	13/10
HR before exercise	86.30±9.01
SpO ₂ before exercise	96.82±1.02
PSS	19.00±5.88
FSS	30.60±8.97

HR: Heart Rate, SpO₂: Peripheral oxygen saturation,
PSS: Perceived Stress Scale, FSS: Fatigue Severity Scale

2. 스트레스 수준에 따른 심박수 비교

고스트레스 군(n=12)과 저 스트레스군(n=11)간의 심박수 값을 비교한 결과, 운동 후 1분 시점 심박수 회복률(HRR 1min)에서 유의한 차이를 보였다(p<.05)(표 2). 반면, 운동전, 운동직후, 운동 후 3분, 5분 시점의 심박수에서는 유의한 군간 차이를 보이지 않았다(p>.05)

3. 피로도 수준에 따른 심박수 비교

고피로군(n=9)과 저피로군(n=14)을 비교한 결과, 운동 직후의 심박수와 운동 후 5분 시점 심박수 회복률(HRR 5min)에서 유의한 차이를 보였다(p<.05)(표 3). 반면, 운동 전, 운동 후 1분, 3분 시점의 심박수 및 심박수 회복률 값에서는 두 군간 유의한

Table 2. Comparison of Heart Rate by Stress Level

Variable	High Stress(n=12)	Low Stress(n=11)	p
Resting HR	87.00±7.00	85.54±11.12	0.709
HR immediately post-exercise, 0 min	145.83±11.76	141.18±14.02	0.397
HR 1min post-exercise	119.66±9.67	106.36±10.92	0.004**
HR 3min post-exercise	101.16±12.13	98.18±15.81	0.615
HR 5min post-exercise	86.33±12.42	87.45±12.44	0.687
HRR 1min	17.73±5.81	24.37±7.48	0.026*
HRR 3min	30.64±5.75	30.64±7.02	0.999
HRR 5min	41.25±9.04	37.83±8.26	0.356

HR: Heart Rate, HRR 1/3/5 min: Heart Rate Recovery at 1, 3, 5 minutes after exercise, *p<0.05, **p<0.01

Table 3. Comparison of Heart Rate by Fatigue Level

	High Fatigue(n=9)	Low Fatigue(n=14)	p
Resting HR	83.11±7.91	88.35±9.35	0.179
HR immediately post-exercise, 0 min	136.11±12.33	148.42±10.97	0.021*
HR 1min post-exercise	110.88±6.35	114.85±14.75	0.184
HR 3min post-exercise	93.55±9.02	103.71±15.07	0.084
HR 5min post-exercise	88.00±8.63	85.28±14.24	0.614
HRR 1min	0.18±0.05	0.22±0.07	0.153
HRR 3min	0.31±0.28	0.30±0.07	0.710
HRR 5min	0.35±0.06	0.42±0.08	0.039*

HR: Heart Rate, HRR 1/3/5 min: Heart Rate Recovery at 1, 3, 5 minutes after exercise, *p<0.05

Table 4. Correlation between Stress, Fatigue levels, and Post-Exercise Heart rate and SpO₂ Recovery

	PSS	FSS
Resting HR	0.091	-0.073
	0.680	0.740
HR immediately post-exercise, 0 min	0.048	-0.210
	0.827	0.336
HR 1min post-exercise	0.532**	-0.064
	0.009	0.773
HR 3min post-exercise	0.036	-0.035
	0.869	0.873
HR 5min post-exercise	0.004	0.286
	0.986	0.186
HRR 1min	-0.557**	-0.154
	0.006	0.483
HRR 3min	-0.021	-0.149
	0.923	0.498
HRR 5min	0.031	-0.424*
	0.888	0.044

PSS: Perceived Stress Scale, FSS: Fatigue Severity Scale,

HR: Heart Rate, HRR 1/3/5 min: Heart Rate Recovery at 1, 3, 5 minutes after exercise

*p<0.05, **p<0.01

차이를 보이지 않았다(p>.05).

IV. 고 찰

4. 스트레스 및 피로도와 심박수 회복과의 상관관계

스트레스 수준은 운동 후 1분 시점 심박수($r=.532$)와 유의한 양의 상관관계를 보였고, HRR 1min($r=-.667$)과는 유의한 음의 상관관계를 보였다. 피로도는 HRR 5min과 유의한 음의 상관관계를 보였다($r=-.424$)(표 4).

운동 후 회복기에는 심박수, 일회박출량, 심박출량이 빠른 감소를 나타내며, 회복능력은 유산소적 운동능력이 우수할수록 빠른 감소를 보인다(Rubin, 1987). 본 연구는 대학생의 스트레스와 피로 수준에 따라 운동 후 심박수 회복에 차이가 나타나는지를 검증하고, 스트레스 지수와 피로도가 심박수 회복 지표간의 관련성을 분석하였다.

본 연구에서 스트레스 수준에 따른 비교 결과, 스트레스 지수가 높은 고스트레스군이 저스트레스군보다 운동 후 1분 시점의

심박수 회복률(HRR 1min)이 유의하게 낮았다. 이는 기존 연구들과 일치하는 결과로, 스트레스 조건에서 심박수 변이도에 미치는 영향을 비교 분석한 Delaney 등(2000)의 연구에서도 스트레스 상황에서 심박수 변이도가 감소하고 심박수 회복이 저하되는 경향을 보고된 바 있다. Föhr 등(2015)의 연구에서도 주관적 스트레스 점수 PSS와 심박수 변이도 기반 회복 지표간 역 상관관계를 나타내었고 고스트레스 상태에서 생리적 심박수 회복이 지연될 수 있음을 보여주었다.

또한, 스트레스 점수는 HRR 1min과 음의 상관관계를, HR 1min과는 유의한 양의 상관관계를 나타냈다. 이는 스트레스 수준이 높을수록 운동종료 직후 초기 1분 시점의 심박수 회복 소고가 저해되어, 1분 시점까지 심박수가 더 높게 유지되고, 그 결과 심박수 감소폭인 회복률은 더 낮게 나타난다는 것을 확인할 수 있다.

만성 심부전 환자들을 대상으로 한 심리적 스트레스와 심박수 회복간의 관계를 분석한 연구에서, 불안 수준이 높을수록 HRR 1min이 둔화되었다고 보고하였다(Känel 등, 2009). 이들은 높은 스트레스 상태가 부교감신경의 재활성화를 지연시켜 심박수 회복능력을 저하했을 것이라고 해석했다. Vrijkotte 등(2000)은 근로자를 대상으로 스트레스와 심박수의 연관성을 확인하였고, 직장 스트레스가 높을수록 24시간 측정된 부교감신경활성 지표가 낮았고, 높은 심박수가 유지됨을 보고하였다. 본 연구 결과도 스트레스 수준이 높을수록 심박변이도 감소 및 HRR 지연과의 연관성을 관찰한 선행연구의 결과와 일맥상통한다(Gordon 등, 2012; Kaur 등, 2014; Tonello 등, 2014).

특히, HRR 1min은 운동 종료 후 1분간의 심박수 감소량을 의미하며, 특히 부교감신경 재활성화의 초기단계를 반영하는 민감한 지표로 운동 후 첫 1분은 교감신경의 억제와 부교감신경의 활성화가 동시에 진행되는 시점이다. 따라서 HRR 1min 이 시기의 저하는 스트레스에 의해 부교감신경 회복의 지연 가능성으로 연결될 수 있다(Cole 등, 1999; Imai 등, 1994; Lindenberg 등, 2014).

본 연구에서는 피로도와 5분 심박수 회복률(HRR 5min)과 유의한 음의 상관관계를 나타냈고, 이는 피로도가 높을수록 심박수 회복률이 낮음을 보여준다. Rampichini 등(2020)은 피로가 흔한 다발성경화증 환자에서 최대 하 운동으로 신체 운동 후 심박수 회복에 대해 건강 대조군 대비 HRR 감소 및 회복기 부교감 재활성 저하 장애를 보고하였다. Van Oosterwijck 등(2021)은 만성피로증후군 환자에서 운동 후 심박수가 정상수준으로 회복되지 않고, 높은 피로상태가 부교감 재활성화 둔화와 심박수 회복 지연을 보였다고 하였다. 만성 또는 급성 피로상태에서는 부교감신경 활성 저하와 교감신경 항진의 지속이 나타나며(Chen 등, 2023; Mizuno 등, 2014), 자가조절 기능 및 회복 시스템의 저하와 연관되어 HRR의 지연을 초래한다(Van Cauwenbergh 등,

2014). 만성적인 피로가 자율신경계의 항상성 유지 능력을 저하시키고 심혈관계 운동회복을 지연시킨다는 선행연구는 피로가 클수록 후기 회복 지연이 나타날 수 있다는 본 연구 결과의 해석과 일맥상통한다.

또한, 피로도(FSS)와 심박수 회복 지표와의 상관관계 분석에서 피로도가 HRR 5min과 유의한 음의 상관관계를 보였다는 점에서 피로 수준은 운동 직후보다는 후기 회복기 지연에 더 큰 영향을 미치는 것으로 보였다. HRR의 1-5분대 지표는 심장 미주 신경 지표와 연관되어 있으며, 특히 HRR 5min은 운동 후 후기 회복기의 심박수 감소량으로, 부교감신경 재활성화와 교감신경 억제의 후기 단계를 나타낸다(Fecchio 등, 2019). 운동 직후 초기 1분 회복이 부교감 활성화 중심을 보여주며, 5분 회복은 지속적인 자율신경 균형 회복 및 피로 누적상태와 관련을 가진다(Cozgarea 등, 2024; da Fonseca 등, 2024; Pierpont 등, 2013). 이러한 결과는 피로도 수준이 높은 경우 심박수 회복 과정에서 유의한 저하가 나타날 수 있다는 우리의 결과를 뒷받침한다.

스트레스 및 피로수준에 따른 운동 후 심박수 회복의 차이를 분석했다는 점에서 의의가 있으나 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 표본수가 상대적으로 적고 집단 간 규모 및 성별이 고르게 분포되지 않아 통계적 검정력에 제한이 있을 수 있다. 특히 상관분석 결과에서의 효과크기를 일반화하기에는 표본수가 적어 추후에는 더 큰 모집원을 대상으로 한 분석이 필요하다. 둘째, 스트레스와 피로 수준을 평가하는데 자기 보고형 설문지를 사용하였기에 주관적 편향의 가능성이 존재한다. 셋째, 본 연구는 스트레스와 피로가 심박수 회복과의 상관성을 확인하였으나, 스트레스나 피로의 자율신경 변화 및 대사적 요인 등의 기전을 직접 증명하려면 심박수변이도나 교감활성 지표, 또는 더 정교한 자율신경 측정이 필요할 것으로 생각된다. 마지막으로, 동일한 대상자를 스트레스 수준과 피로 수준을 각각 고·저로 이분화하여 그룹을 분류하였기 때문에 일부 대상자에서 그룹 간 교차가 발생하였다. 이는 해석 과정에서 상호작용 효과를 명확히 분리하기 어렵게 만들 수 있으며, 향후 연구에서는 연속형 변수 분석, 다변량 모형 적용, 또는 잠재집단분석과 같은 방법을 활용하여 보다 정교한 해석이 필요하다. 따라서 향후 연구에서는 반복 측정 또는 종단적 연구 설계를 기반으로 회복반응의 변화양상을 추적할 필요가 있다.

V. 결론

본 연구는 대학생을 대상으로 스트레스 및 피로 수준에 따른 운동 후 심박수 회복을 비교 분석하였다. 스트레스와 피로도가 높을수록 운동 종료 후 심박수 회복률이 낮게 나타났다. 결론적으로 운동 및 재활 시 개인의 스트레스와 피로 상태를 함께 고려할 필요성을 보여주며, 심박수 회복 지표를 활용한 운동 및 회복관리

전략 수립 자료의 근거로 제시될 수 있다.

참고문헌

- Blase K, Vermetten E, Lehrer P, et al. Neurophysiological approach by self-control of your stress-related autonomic nervous system with depression, stress and anxiety patients. *Int J Environ Res Public Health*, 18(7);3329, 2021.
- Chen Y, Liu M, Zhou J, et al. Acute effects of fatigue on cardiac autonomic nervous activity. *J Sports Sci Med*, 22(4);806, 2023.
- Cho HJ, Bower JE, Kiefe CI, et al. Early life stress and inflammatory mechanisms of fatigue in the Coronary Artery Risk Development in Young Adults (CARDIA) study. *Brain Behav Immun*, 26(6);859-865, 2012.
- Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, et al. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med*, 341(18);1351-1357, 1999.
- Cole CR, Foody JM, Blackstone EH, et al. Heart rate recovery after submaximal exercise testing as a predictor of mortality in a cardiovascularly healthy cohort. *Ann Intern Med*, 132;552-555, 2000.
- Cozgarca A, Cozma D, Teodoru M, et al. Heart Rate Recovery: Up to Date in Heart Failure—A Literature Review. *J Clin Med*, 13(11);3328, 2024.
- da Fonseca RX, Gomes da Cruz CJ, Soares ED, et al. Post-exercise heart rate recovery and its speed are associated with resting-reactivity cardiovagal modulation in healthy women. *Sci Rep*, 14(1);5526, 2024.
- Delaney JP, Brodie DA. Effects of short-term psychological stress on the time and frequency domains of heart-rate variability. *Percept Mot Skills*, 91;515-524, 2000.
- Doerr JM, Ditzen B, Strahler J, et al. Reciprocal relationship between acute stress and acute fatigue in everyday life in a sample of university students. *Biol Psychol*, 110;42-49, 2015.
- Fecchio RY, Brito L, Leicht AS, et al. Reproducibility of post-exercise heart rate recovery indices: A systematic review. *Auton Neurosci*, 221;102582, 2019.
- Flachenecker P, Kumpfel T, Kallmann B, et al. Fatigue in multiple sclerosis: a comparison of different rating scales and correlation to clinical parameters. *Mult Scler*, 8;523-526, 2002.
- Föhr T, Tolvanen A, Myllymäki T, et al. Subjective stress, objective heart rate variability-based stress, and recovery on workdays among overweight and psychologically distressed individuals: a cross-sectional study. *J Occup Med Toxicol*, 10(1);39, 2015.
- Gordon JL, Ditto B, D'Antono B. Cognitive depressive symptoms associated with delayed heart rate recovery following interpersonal stress in healthy men and women. *Psychophysiology*, 49(8); 1082-1089, 2012.
- Huang CJ, Webb HE, Zourdos MC, et al. Cardiovascular reactivity, stress, and physical activity. *Front Physiol*, 4;314, 2013.
- Imai K, Sato H, Hori M, et al. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*, 24(6);1529-1535, 1994.
- Javorka M, Zila I, Balharek T, et al. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Braz J Med Biol Res*, 35;991-1000, 2002.
- Jolly MA, Brennan DM, Cho L. Impact of exercise on heart rate recovery. *Circulation*, 124(14);1520-1526, 2011.
- Känel RV, Saner H, Kohls S, et al. Relation of heart rate recovery to psychological distress and quality of life in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 16(6);645-650, 2009.
- Kaur B, Durek JJ, O'Kane BL, et al. Heart rate variability (HRV): an indicator of stress. *Proc SPIE*, 9118;177-184, 2014.
- Lindenberg S, Chermont S, Quintão M, et al. Heart rate recovery in the first minute at the six-minute walk test in patients with heart failure. *Arq Bras Cardiol*, 102;279-287, 2014.
- Liu X, Shan Y, Peng M, et al. Human stress and StO₂: Database, features, and classification of emotional and physical stress. *Entropy*, 22(9);962, 2020.
- Mizuno K, Tajima K, Watanabe Y, et al. Fatigue correlates with the decrease in parasympathetic sinus

- modulation induced by a cognitive challenge. *Behav Brain Funct*, 10(1);25, 2014.
- Patrick Neary J, Roberts AD, Leavins N, et al. Prefrontal cortex oxygenation during incremental exercise in chronic fatigue syndrome. *Clin Physiol Funct Imaging*, 28(6);364-372, 2008.
- Pecanha T, Silva-junior N, Moraes Forjaz de CL. Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clin Physiol Funct Imaging*, 34(5);327-339, 2014.
- Pierpont GL, Adabag S, Yannopoulos D. Pathophysiology of exercise heart rate recovery: a comprehensive analysis. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 18(2); 107-117, 2013.
- Pizzagalli DA, Bogdan R, Ratner KG, et al. Increased perceived stress is associated with blunted hedonic capacity: potential implications for depression research. *Behav Res Ther*, 45(11);2742-2753, 2007.
- Rampichini S, Gervasoni E, Cattaneo D, et al. Impaired heart rate recovery after sub-maximal physical exercise in people with multiple sclerosis. *Mult Scler Relat Disord*, 40;101960, 2020.
- Rosenblum S, Rab SL, Admon R. Dynamics in physiological acute stress response trajectories: uncovering latent variability. *BMC Psychiatry*, 25(1);361, 2025.
- Rubin S. Core temperature regulation of heart rate during exercise in humans. *J Appl Physiol*, 62;1997-2002, 1987.
- Stults-Kolehmainen MA, Bartholomew JB. Psychological stress impairs short-term muscular recovery from resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 44(11); 2220-2227, 2012.
- Thayer JF, Lane RD. Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neurosci Biobehav Rev*, 33(2);81-88, 2009.
- Tonello L, Rodrigues FB, Souza JW, et al. The role of physical activity and heart rate variability for the control of work related stress. *Front Physiol*, 5;67, 2014.
- Van Cauwenbergh D, Nijs J, Kos D, et al. Malfunctioning of the autonomic nervous system in patients with chronic fatigue syndrome: a systematic literature review. *Eur J Clin Invest*, 44(5);516-526, 2014.
- Van Laethem M, Beckers DG, Dijksterhuis A, et al. Stress, fatigue, and sleep quality leading up to and following a stressful life event. *Stress Health*, 33(4);459-469, 2017.
- Van Oosterwijck J, Marusic U, De Wandele I, et al. Reduced Parasympathetic Reactivation during Recovery from Exercise in Myalgic Encephalomyelitis/Chronic Fatigue Syndrome. *J Clin Med*, 10(19);4527, 2021.
- Vrijkotte TG, Van Doornen LJ, De Geus EJ. Effects of work stress on ambulatory blood pressure, heart rate, and heart rate variability. *Hypertension*, 35(4); 880-886, 2000.
- Yuan Y, Leung AW, Duan H, et al. The effects of long-term stress on neural dynamics of working memory processing: An investigation using ERP. *Sci Rep*, 6(1);23217, 2016.

