

T.C.  
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TENİS MÜSABAKASI SÜRESİNCE KALP ATIM HIZI  
DEĞİŞKENLİĞİNİN SPEKTRAL ANALİZİ**

**Süleyman TÜRK**

**DOKTORA TEZİ**

ANTRENÖRLÜK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**Danışman**

**Prof. Dr. Halil TAŞKIN**

**KONYA-2025**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince bana her konuda desteğini esirgemeyen, görüş ve bilgileriyle yönlendiren, değerli danışman hocam Prof.Dr. Halil TAŞKIN'a, tezimin oluşturulması aşamasında yorum ve tecrübelerini aktaran saygı değer hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet SANIOĞLU'na, Prof. Dr. Turgut KAPLAN'a, Prof. Dr. Nurtekin ERKMEN'e ve Dr. İbrahim Halil ŞAHİN'e, hoşgörüsünü, yardımını, güler yüzünü ve sabrını tez çalışmam süresince hiç esirgemeyen ve her türlü desteği sağlayan aileme teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

|  |             |
|--|-------------|
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>   | <b>v</b>    |
| <b>ÖZET.....</b>   | <b>vii</b>  |
| <b>SUMMARY .....</b>   | <b>viii</b> |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>   | <b>1</b>    |
| 1.1.    Tenis.....   | 2           |
| 1.1.1.    Teniste Müsabaka Aktivitesi.....                                     | 4           |
| 1.1.2.    Tenis Müsabakasını Etkileyen Faktörler.....                          | 5           |
| 1.1.3.    Tenis Müsabakasının Gereksinimleri.....                              | 6           |
| 1.1.4.    Tenis ve Antropometri .....  | 7           |
| 1.1.5.    Tenis ve Oksijen Alımı .....   | 7           |
| 1.1.6.    Tenis ve Kan Laktatı .....   | 8           |
| 1.1.7.    Tenis ve Cinsiyet.....   | 9           |
| 1.1.8.    Tenis ve Psikolojik Faktörler .....                                  | 10          |
| 1.2.    Sinir Sistemi.....   | 11          |
| 1.2.1.    Sinir Sistemi Organizasyonu.....                                     | 12          |
| 1.2.2.    Otonom Sinir Sistemi.....  | 13          |
| 1.2.3.    Sempatik Sinir Sistemi.....  | 14          |
| 1.2.4.    Parasempatik Sinir Sistemi .....                                     | 15          |
| 1.2.5.    Sempatik ve Parasempatik Sinir Sistemi Arasındaki İşlevsel İlişki .. | 16          |
| 1.2.6.    Otonom Sinir Sistemi ve Biyolojik Stres.....                         | 18          |
| 1.2.7.    Otonom Sinir Sistemi ve Egzersiz Yorgunluğu.....                     | 19          |
| 1.2.8.    Otonomik Fonksiyonu Değerlendiren Testler.....                       | 21          |
| 1.2.9.    Kalp Atım Hızı.....  | 21          |
| 1.2.10.    Tenis ve Kalp Atım Hızı .....                                       | 25          |
| 1.2.11.    Kalp Atım Hızı Değişkenliği Parametrelerinin Yorumlanması.....      | 26          |
| <b>2. GEREÇ VE YÖNTEM.....</b>   | <b>29</b>   |

|           |                               |           |
|-----------|-------------------------------|-----------|
| 2.1.      | Deney Protokolü .....         | 29        |
| 2.2.      | Verilerin Toplanması .....    | 30        |
| 2.3.      | KAH Spektral Analizi.....     | 30        |
| 2.4.      | Verilerin Analizi.....        | 30        |
| <b>3.</b> | <b>BULGULAR.....</b>          | <b>31</b> |
| <b>4.</b> | <b>TARTIŞMA.....</b>          | <b>44</b> |
| <b>5.</b> | <b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b> | <b>49</b> |
| <b>6.</b> | <b>KAYNAKLAR .....</b>        | <b>50</b> |
| <b>7.</b> | <b>EKLER .....</b>            | <b>58</b> |
|           | EK-A: Etik Kurul Kararı ..... | 58        |
|           | EK-B Gönüllü Onam Formu ..... | 59        |
|           | EK-C: Turnitin Raporu.....    | 60        |
| <b>8.</b> | <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>         | <b>62</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|                    |  |
|--------------------|--|
| m                  | : Metre                                  |
| sn                 | : Saniye                                 |
| cm                 | : Santimetre                             |
| kg                 | : Kilogram                               |
| ms                 | : Milisaniye                             |
| bpm                | : Dakika başına düşen vuruş sayısı       |
| VO <sub>2</sub>    | : Oksijen tüketimi                       |
| VO <sub>2max</sub> | : Maksimum oksijen tüketimi              |
| ml                 | : Mililitre                              |
| L                  | : Litre                                  |
| MSS                | : Merkezi sinir sistemi                  |
| OSS                | : Otonom sinir sistemi                   |
| SSS                | : Sempatik sinir sistemi                 |
| PSS                | : Parasempatik sinir sistemi             |
| SA                 | : Sinoatriyal                            |
| KH                 | : Kalp hızı                              |
| KAH                | : Kalp atım hızı                         |
| Dk                 | : Dakika                                 |
| GDP                | : Genel denge puanı                      |
| Hz                 | : Hertz                                  |
| EKG                | : Elektrokardiyografi                    |
| SSA                | : Solunum sinüs aritmisi                 |
| RR                 | : İki Kalp Atımı Arası                   |
| HR                 | : Kalp atımı                             |
| SDNN               | : NN İntervallerinin Standart Deviasyonu |

|       |  |
|-------|--|
| NN50  | : Ardışık NN aralıkları arasındaki farkın 50 ms' nin üzerinde olduğu aralık sayısı |
| PNN50 | : NN50 sayısının toplam NN aralığı sayısına oranı                                  |
| HRV   | : Kalp atım değişkenliği   |
| LF    | : Düşük Frekans  |
| HF    | : Yüksek Frekans   |
| SD1   | : Kısa vadeli HRV'yi temsil eder   |
| SD2   | : Uzun vadeli HRV'yi temsil eder   |
| MÖ    | : Müsabaka öncesi  |
| ME    | : Müsabaka esnası  |
| MS    | : Müsabaka sonrası   |

## ÖZET

T.C.  
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

### Tenis Müsabakası Süresince Kalp Atım Hızı Değişkenliğinin Spektral Analizi Süleyman TÜRK

Antrenörlük Eğitimi Anabilim Dalı

DOKTORA TEZİ / KONYA - 2025

Tenis müsabakası süresince kalp atım değişkenliğinin incelenmesi amacıyla yapılan bu araştırmaya, yaşları ortalaması  $15,73 \pm 2,51$  yıl, boyları ortalaması  $165,80 \pm 6,33$  cm ve vücut ağırlıkları ortalaması  $57,20 \pm 8,39$  kg olan toplam 30 lisanslı tenis sporcusu gönüllü olarak katılmıştır. Araştırma yıllık antrenman periyotlamasının yarışma döneminde sentetik tenis kortlarında gerçekleştirilmiştir. Sporcuların kalp atım hızı değişkenliği, müsabaka öncesinde, müsabaka esnasında ve müsabaka sonrasında V800 GPS özellikli polar saat ve H10 göğüs bandı kullanılarak kaydedildi. Kalp atım değişkenliğine ilişkin zaman ve frekans eksenli parametreler Kubios HRV Scientific analiz programı ile analiz edildi. Sporcuların, müsabaka öncesi (MÖ), müsabaka esnası (ME) ve müsabaka sonrası (MS) RR, HR, RMSSD, PNN50, HRV, SD1, SD2, SD1/SD2, PNS indeksi ve SNS indeks değerleri değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p < 0,05$ ), SDNN, NN50 ve LF/HF değerleri arasında MÖ, ME ve MS bakımından, anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p > 0,05$ ).

Sonuç olarak; Müsabaka öncesi sporcuların müsabaka şartlarına ve müsabaka sonrasına göre daha düşük bir stres yaşadıkları, müsabaka süresince bu stresin arttığı görülmektedir. Müsabaka süresince ve müsabaka sonrası sporcuların stres düzeyleri aynı seviyede seyretmektedir. Ancak müsabaka sonrasında da stresin bir miktar arttığı söylenebilir. Bunun müsabaka sonucu ile bağlantılı olduğu düşünülebilir. Müsabakaların sporcuları baskı altına aldığı bunun da fizyolojik olarak sempatik sinir sistemine bağlı sporcuların kan basıncında artışın olmasına bağlı olduğu söylenebilir. Müsabakaların sporcuları  $21,9\%$  oranında stres altına soktuğu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kalp atım hızı, Psikofizyoloji, Spor, Tenis

## SUMMARY

REPUBLIC OF TÜRKİYE  
SELCUK UNIVERSITY  
INSTITUTE OF HEALTH SCIENCES

### Spectral Analysis of Heart Rate Variability During Tennis Competitions

Süleyman TÜRK

Department of Trainer Education

PhD THESIS / KONYA - 2025

A total of 30 licensed tennis players with an average age of  $15.73 \pm 2.51$  years, an average height of  $165.80 \pm 6.33$  cm and an average body weight of  $57.20 \pm 8.39$  kg participated voluntarily in this study conducted to investigate heart rate variability during a tennis match. The study was conducted on synthetic tennis courts during the competition period of the annual training periodization. The athletes' heart rate variability was recorded using a V800 GPS-enabled Polar watch and an H10 chest strap before, during and after the match. Time and frequency axis parameters related to heart rate variability were analyzed with the Kubios HRV Scientific analysis program. While it was determined that there was a significant difference between the pre-competition (BC), during-competition (CE) and post-competition (CE) RR, HR, RMSSD, PNN50, HRV, SD1, SD2, SD1/SD2, PNS index and SNS index values of the athletes ( $p < 0.05$ ), it was determined that there was no significant difference between the SDNN, NN50 and LF/HF values in terms of BC, ME and MS ( $p > 0.05$ ).

As a result, it is seen that athletes experience lower stress before the competition compared to the competition conditions and after the competition, and this stress increases during the competition. The stress levels of athletes remain at the same level during and after the competition. However, it can be said that stress increases slightly after the competition. It can be thought that this is related to the result of the competition. It can be said that competitions put athletes under pressure, and this is due to the increase in blood pressure of athletes physiologically related to the sympathetic nervous system. It is seen that competitions put athletes under stress by 21.9%.

**Key Words:** Heart rate, Psychophysiology, Sports, Tennis

## 1. GİRİŞ

Tenis, dünya çapında milyonlarca oyuncu ve hayranın ilgisini çeken, birinci sınıf, rekabetçi, ayrıca tüm oyun yeteneklerine sahip kişilerin keyif aldığı yaygın bir spordur (Fernandes ve ark 2006). Tenis, stil ve ustalığa dayalı teknik ve taktik bir oyundan, saatte 210 km'lik servislerin yaygın olduğu, fiziksel yeteneklere dayalı, günümüzün hızlı, tempolu, patlayıcılık gereksinimlerine ihtiyaç duyan bir spora doğru evrilmiştir (Kovacs 2007).

Tenisteki çeşitli aktivite düzeni ve karışık enerji gereksinimleri, oyuncuları üstün olabilmek için farklı fiziksel kondisyon unsurlarını geliştirmeye ve iyileştirmeye zorlar. Örnek olarak, hızlı toplara ulaşmak için yüksek hız ve çeviklik gerekir, güçlü vuruşlar üretmek için üst ve alt vücut kuvveti gerekir ve uygun şekilde toparlanmak ve uzun maçlar sırasında yoğunluk seviyesini korumak için yüksek aerobik kapasite gereklidir. Bu nedenle, çok yönlü teknik ve taktik antrenmanın yanı sıra oyunun karmaşıklığı, oyuncunun anaerobik ve aerobik kapasitelerini geliştirecek özel kondisyon programlarının tasarlanmasını gerektirmektedir. Tenis oyuncularının çeşitli becerilere ve kondisyon yeteneklerine sahip olması gerektiğinden ve antrenman süresi sınırlı olduğundan (özellikle turnuvalar arasında sıklıkla seyahat eden üst düzey oyuncular arasında), farklı kondisyon değişkenlerinin göreceli öneminin sıralanması önemli görünmektedir (Meckel ve ark 2015).

Rekabetçi ve başarılı olmak için tenis sporcularının orta ila yüksek aerobik yeteneklerle birlikte hız, çeviklik ve güç karışımına ihtiyaçları olacaktır. Teniste başarılı performans, tek bir baskın fiziksel özellik ile tanımlanamaz. Tenis, fiziksel bileşenlerin karmaşık bir etkileşimini gerektirir. Bu fiziksel bileşenlerin temelinde bilişsel ve psikolojik süreçler vardır. Oyuncular üstün tepkisel, öngörücü ve karar verme kapasiteleri sergilemeli, aynı zamanda ortaya çıkan yorgunlukla, maçın sonucunu belirleyen puanların baskısıyla baş edebilecek mental dayanıklılığa sahip olmalıdır (Hornery ve ark 2007).

Dolayısıyla kalp atım hızı değişkenliğini anlamak, bireyin çevresel stres faktörlerine uyum sağlama yeteneğini temsil eden, vücudun dinamik kalp kontrolüne ilişkin değerli bilgiler sağlayacak olması bakımından önem arz etmektedir (Podeszwa 2018).

## 1.1. Tenis

Tenisin modern kökenleri geçen yüzyılın sonlarına dayansa da öncülleri çok daha eskidir. İnsan toplumunda top oyunlarının başlangıcı için kesin bir an belirlemek zordur. Pek çok spor dalında olduğu gibi top oyunlarının da ilk belgelenmesi dini tören ve ayinlerle ilgilidir. Top oyunlarının bilinen en eski göstergeleri M.Ö. 2000 yılı öncesine kadar uzanmaktadır. Tenisin atalarından kalma bir başka iz, Tula şehrinde bulunan bir Toltek gravüründe görülmektedir. Bu görselde Kolomb öncesi Meksika halkının oynadığı bir oyun olan "Tachtli"nin varlığını görebilirsiniz. Bu oyun dini ve sembolik anılara sahiptir ve tenisle önemli benzerlikler taşımaktadır (Pascual 1993, Zurita 1998, Martínez 2013).

13. yüzyılın sonlarında, topa vurulup vurulmadığına bağlı olarak iki oyun türü ön plana çıkmıştır. Bunlardan birinde, oyun için daha az alana ihtiyaç duyulması ve puanların daha uzun sürmesi nedeniyle daha popülerdir, çünkü topu yere değmeden oyunda tutmak daha kolaydır. Diğeri ise topa elin avuç içi ("paume") ile vurulması nedeniyle "Jeu de paume" olarak anılmaya başlanmıştır. Bu oyun her iki tarafta üç veya daha fazla rakip tarafından iki yöntemle oynanırdı: açık havada oynanan "lounge paume" (uzun avuç içi) ve kapalı alanda oynanan "courte paume" (kısa avuç içi). Zaman geçtikçe "courte" kelimesi Fransızca ve İngilizcenin tenis kortuna verdiği isim olan "court"a dönüşmüştür (Zurita 1998, Muntañola 1996, Gillmeister 2008).

Fransa'da oyunun açıkça sınıfçı bir yönü olduğu görülmüştür; Kilise ve Saray bunun en büyük temsilcileridir. Bulunan dini belgelere göre, manastırların dış duvarlarında uzun veya kısa "paume" oynayanların ilahiyat öğrencilerinden, rahiplerden, başrahiplerden ve hatta piskoposlardan oluştuğundan söz edilmektedir. Görünüşe göre manastırlarda ve katedrallerde bulunan katedral okullarının öğrencileri ve öğretmenleri tarafından oynanmaktadır (Gillmeister 2008, Jiménez 2009).

16. yüzyılda tenisin popülaritesi yalnızca Fransa veya İngiltere ile sınırlı değildi, aynı zamanda İtalyan Antonio Scaino de Saló'nun 1555'te ilk incelemeyi yazmasıyla tüm Avrupa'ya yayılmıştır (Gillmeister 2008).

16. ve 17. Yüzyıllar boyunca tenis tüm Avrupa'ya yayıldı ve tenis profesyonelleri için bir lonca kurulmasını öngören Tüzükler oluşturuldu. İtalya'da her

iki tarafı da ayıran engel olan “Corda” olarak adlandırılmıştır (Pascual 1993, Martínez 2013).

Günümüzde tenis, düzgün ve sert bir zemin üzerinde raket denen bir araç ile üzeri keçe ile kaplanmış topa vurularak, sahanın ortasında 91 cm. yüksekliğindeki bir filenin üzerinden aşırılarak oynanan sportif bir oyundur. Tenis setler üzerinden oynanan bir oyundur. Bayanlarda üç set, erkeklerde üç veya beş set üzerinden oynanır. Bayanlarda iki seti alan, erkeklerde beş setlik oyunlarda üç seti alan, üç setlik oyunlarda ise iki seti alan maçı kazanmış olur. Her set altı oyundan meydana gelir. Her oyun ise kendi içinde 15, 30, 40 ve en son alınan puan oyun olarak değerlendirilir. Bir oyuncunun bir seti alabilmesi için altı oyunu da alması gerekir. Set skorları 6-0 /6-1 /6-2 /6-3 ve 6-4 olarak bitirilebilir. Set 6-5 bitirilemez. Set içindeki oyunlar 6-5 olur ise bir oyuncunun o seti alabilmesi için iki oyunu üst üste alması gerekir. Bu durumda bir oyuncu iki oyunu üst üste aldığı takdirde o set 6-5 yerine 7-5 biter. Yani oyunlar arasında fark çift olana kadar set devam etmelidir. Üç setlik oyunlarda ilk iki sette, beş setlik oyunlarda ilk dört set içindeki oyunlarda 6-6 gibi bir beraberlik söz konusu ise oyunun daha fazla uzamaması ve beraberliğin bozulması için tie-break oyunu yani beraberliği bozma oyunu oynanır. Tie-break oyununda puanlar 15, 30, 40 yerine 1, 2, 3... 6, 7 olarak sayılır. Yani bir oyuncu yedi sayıyı aldığı takdirde o seti kazanmış olur. Fakat tie-break oynanırken puanlarda 6-6 ‘lık bir eşitlik var ise o zaman yine bir kişinin iki puanı üst üste alması gerekir. Tie-break skorları 8-6, 9-7 şeklinde devam eder (Groppell 1989, Kilit 2012).

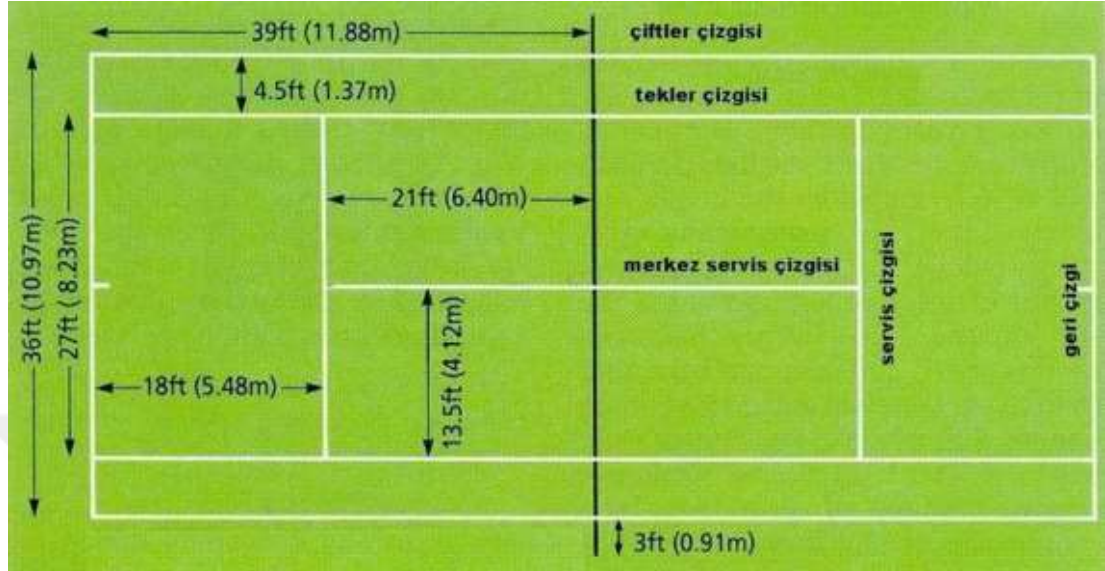
Tenis oyunu cinsiyete göre üç kategoride oynanır.

Bunlar:

- 1- Tekler (Erkekler/Kadınlar)
- 2- Çiftler (Erkekler/Kadınlar)
- 3- Karışık

Tekler tenis saha ölçüleri: 8.23 x 23.77 m. Boyutunda dikdörtgen düz bir alandır. Saha ortasından boydan boya bir ağ (0.914cm.) ile ikiye bölünür. Toprak, kil, çimen, asfalt veya sentetik malzemeden oluşabilir. Önemli olan sahanın düz olmasıdır. Tekler sahasında karşılıklı birer kişi aynı cinsten olmak şartı ile müsabaka oynayabilir.

Çiftler Tenis saha ölçüleri: Tekler sahasının enine 1.37 metrelik iki koridor ilave edilmiştir. Sahanın eni 10.97 m. olur. İkişer kişi karşılıklı bay, bayan veya karışık (bir bay bir bayan) olarak müsabaka oynayabilirler (Kilit 2012).



Şekil 1.1. Tenis saha ölçüleri (<https://www.itftennis.com/en/about-us/governance/rules-and-regulations/>)

### 1.1.1. Teniste Müsabaka Aktivitesi

Tenis oyunu, aralıklı egzersiz, dönüşümlü kısa (4-10 saniye) yüksek yoğunluklu egzersiz devreleri ve daha uzun süreli (60-90 saniye) birkaç dinlenme periyoduyla kesintiye uğrayan kısa (10-20 saniye) toparlanma devreleri ile karakterize edilir (Fernandes ve ark 2006, Kovacs 2007). Tüm bu dinlenme süreleri, minimum ve maksimum dinlenme sürelerini belirleyen Uluslararası Tenis Federasyonu kuralları tarafından kontrol edilmektedir. 2002'den beri bu dinlenme süreleri puanlar arasında 20 saniye, geçişler arasında 90 saniye ve setler arasında 120 saniyedir. Bir tenis etkinliğinin süresi genellikle bir saatten fazladır ve bazı durumlarda 5 saat sürer (örneğin, Avustralya Açık 2009 erkekler finali: 4 saat 23 dakika) ve tipik ortalama maç süresi 1,5 saattir (Kovacs 2007). Oyun süresi (bir oyundaki toplam oyun süresinin yüzdesi) toprak kortlarda yaklaşık %20 ila 30, sert kort yüzeylerinde ise %10 ila 15'tir (Fernandez ve ark 2006, Kovacs 2007). Bu süre zarfında bir tenis oyuncusu, atış başına ortalama 3 m ve bir nokta peşinde toplamda 8 ila 15 m koşarak, oyuncunun seviyesine bağlı olarak (amatör veya ileri düzey) saatte 1.300 ila 3.600 m arasında tamamlar. Ortalama bir noktadaki yön değişikliği sayısı 4'tür. Oyuncular ralli başına ortalama 2,5

ila 3 vuruş yapıyor ve tüm vuruşların yaklaşık %80'i, oyuncu ayakta dururken 2,5 metreden daha kısa bir mesafede oynanıyor. Tüm vuruşların yaklaşık %10'u, öncelikle kayma tipi hareket modeliyle 2,5 ila 4,5 m'lik hareketle yapılır ve tüm vuruşların % 5'inden azı, 4,5 m'den fazla hareket ve koşu tipi hareket modeliyle (mesafe) yapılır (Ferrauti ve ark 2003).

### **1.1.2. Tenis Müsabakasını Etkileyen Faktörler**

Tenis maçı sırasındaki aktivite profilinin, yüzey türü (toprak, yeşil sert), cinsiyet, farklı taktiksel davranışlar (hücum veya temel oyuncular) veya termal stres gibi spora özgü çeşitli faktörler tarafından değiştirilebileceğini göstermiştir. Tüm bu değişkenler tenis maçının aktivite profilini ve oyuna verilen bireysel fizyolojik tepkileri etkileyebilir (Hornery ve ark 2007).

Tenis kortu yüzeyinin, maç oyununun fiziksel talepleri üzerindeki etkisi daha uzun ralli ve ralli başına daha fazla vuruş, yavaş (toprak) zeminde, hızlı zemine göre daha fazladır (O'Donoghue 2001, Morante ve Brotherhood 2006, Murias ve ark 2007). Saha hızı öncelikle top ile saha yüzeyi arasındaki sürtünme (sürtünme katsayısı) ve bir miktar da eski haline dönme katsayısı ile belirlenir. Sürtünme ne kadar fazla olursa top o kadar yavaşlar. Toprak kortlar gibi yavaş yüzeylerde, daha yüksek geri dönüş katsayısı ve sürtünme katsayısı, yüksek ve nispeten yumuşak bir sıçramayla sonuçlanır (Haake ve ark 2000). Bu, oyuncuya daha hızlı yüzeylere kıyasla topa vurmak için daha fazla zaman sağlar, oyuncuların daha fazla topa ulaşmasına ve sonuçta daha uzun süreli puanlar oynamasına olanak tanır (O'Donoghue 2001).

Oyuncuların taktiksel davranışları, oyun sırasındaki aktivite profilini değiştirebilir. Daha önceki yapılan çalışmada, ralliyi kontrol eden oyuncunun hücum oyuncusu olması durumunda, rallilerin ortalama süresinin tüm saha oyuncusuna veya savunma oyuncusuna göre önemli ölçüde daha kısa olduğu bildirilmiştir (Smekal ve ark 2001). Ancak çalışma sonuçları simüle edilmiş tenis maçı koşulları altında elde edildiğinden dolayı, sonuçları gerçek turnuva koşullarına tahmin ederken dikkatli olunmalıdır. Dahası, bir oyuncu oyunların çoğunda belirli bir rolü (örneğin savunma veya atak) üstlenebilse de, oyunun koşullarına göre strateji değişebilir. Yakın zamanda 4 grand slam turnuvasının tamamında tek erkeklerde ralli sürelerinin arttığı, Wimbledon dışındaki tüm turnuvalarda ise tek kadınlarda ralli sürelerinin azaldığını

görülmüştür. Bu farklılıklar, Uluslararası Tenis Federasyonu'nun sahanın yüzey etkisini telafi etmek amacıyla farklı yüzeyler arasındaki oyun varyasyonunu azaltma girişimi olarak 2006 yılında yeni topların piyasaya sürülmesiyle ilgili olabileceği düşünülmektedir. Uluslararası Tenis Federasyonu'nun 2006'da uygulamaya koyduğu yukarıda bahsedilen değişikliklerinden dolayı, günümüzün profesyonel tenisinde servis ve vole oyuncularının sayısının açıkça azaldığı bildirilmiştir (<https://www.itftennis.com/en/>).

### 1.1.3. Tenis Müsabakasının Gereksinimleri

Tenis, çok sayıda performans belirleyicisi olan çok boyutlu bir spordur (Fernandez-Fernandez ve ark 2014). Maç performansı, kısa toparlanma dönemleriyle (10-20 saniye) dönüşümlü olarak tüm vücudu kapsayan aralıklı sprint egzersizini (2-10 saniye) içerir. Ancak, ortalama 1,5 saatlik bir maç uzunluğunda yer alan daha uzun toparlanma dönemleri (60-120 saniye) vardır (Kovacs 2007, Fernandez-Fernandez ve ark 2009). Tenis maçı genellikle %100 pik değerlerle %70-80 kalp atım hızı, %60-80  $VO_{2max}$  piklere sahip olduğu ifade edilmiştir (Fernandez ve ark 2006, Fernandez-Fernandez ve ark 2009). Tenis maçındaki algılanan eforun elit erkek oyuncularında, Borg CR-10 ölçeğinde (Borg 1982) 3-8 ("orta" ila "çok zor" yoğunluk) olduğu ve maç oyunu boyunca giderek arttığı bildirilmiştir (Gomes ve ark 2011).

Kovacs (2007), tenisin fiziksel becerilerinin ve bileşenlerinin 3 kategoriye ayrılabilirliğini öne sürmüştür:

- Anaerobik; hız, çeviklik, güç, kuvvet ve kas dayanıklılığını içerir.
- Aerobik; kas dayanıklılığını ve aerobik dayanıklılığı içerir.
- Yardımcı bileşenler; vücut farkındalığı/dinamik denge, esneklik ve tepki süresi/öngörü gibi bileşenleri içerir.

Yukarıdaki bilgiler tenisin fiziksel taleplerine genel bir bakış sağlarken, maç aktivitesini ve fizyolojik tepkileri etkileyebilecek birkaç faktör vardır. Tenis, reaktif, öngörülemez bir spordur. Puanlama sistemi, bir ila beş saat arasında değişen sürelerde egzersizin aralıklı olarak tekrarlanmasına yol açar ve bazı müsabakalar maçın formatına (yani 3 veya 5 set) bağlı olarak bundan daha uzundur (Kovacs 2007).

#### 1.1.4. Tenis ve Antropometri

Yıllar boyunca çok çeşitli vücut tipleri ve fiziğe sahip oyuncuların teniste başarılı olduğu gösterilmiştir. Birçok oyuncu, servis atma, vole atma ve kortta uzanma gibi artan boyla birlikte gelen bariz faydalar nedeniyle ortalama nüfusa kıyasla daha uzun boya sahiptir. Ancak boy arttıkça, tenisin kütle merkezini yere yakınlaştırmayı içeren bir spor olması nedeniyle hareket etme ve yön değiştirme yeteneği gerçekleştirilirken zorluk artar, bu genellikle bir zayıflık alanı olarak görülür, bu nedenle farklı fizikler ve elde edilebilecek oyun stili arasında denge olmalıdır (Parker-Simmons ve Love 2018).

1980'lerde ve 1990'larda, daha düşük beden kitle indeksine sahip tenisçiler dört Grand Slam'de (Avustralya Açık, Fransa Açık, Wimbledon ve ABD Açık) maçları kazanıyordu. Ancak, 2000'lerde, daha yüksek beden kitle indeksine sahip olanların bu turnuvalarda kazanma olasılığı daha yüksekti. 80'ler ve 90'lar da yaklaşık 22-23 kg/m<sup>2</sup> iken, 2000'ler de 22,5-24 kg/m<sup>2</sup> idi ve değişim en çok büyük turnuvaların kazananlarında belirgindi. Gale-Watts ve Nevill (2016) bu durumu tenisin dayanıklılıktan çok güce dayalı hale gelmesinin bir ürünü olarak açıklamıştır. Bu geçiş, tenisin gelişen taleplerinin, teknolojideki ilerlemelerin, oyun tarzındaki evrimin veya büyük olasılıkla tüm bu faktörlerin bir kombinasyonunun bir sonucu olabilir.

#### 1.1.5. Tenis ve Oksijen Alımı

Tenis oyuncularının maksimum oksijen tüketiminin ( $VO_{2max}$ ) 45 ile 65 ml/kg/dk arasında olduğu bildirilmektedir (Bergeron ve ark 1991, Kraemer ve ark 2000, Girard ve Millet 2004, Kovacs 2007). Genel olarak, bu değerler erkek oyunculara kadın oyunculara göre daha yüksektir (Reilly ve ark 1995, König ve ark 2001). Bu maksimum değerler, hem anaerobik olarak antrenmanlı (50,0 ± 7,8 ml/kg/dk) hem de aerobik olarak antrenmanlı bireyler (67,2 ± 8,5 ml/kg/dk) için bildirilen değerlerde yer alır ve aerobik ile anaerobik bileşenlerin karışımını gösterir (Green ve ark 2003). Tenis maçı sırasında oksijen alımının, tenisin önceki profillerine (Ferrauti ve ark 2001, Smekal ve ark 2001, Mendez-Villanueva ve ark 2007) dayanarak yaklaşık 23-29 ml/kg/dk olması beklenir; bu da elit oyuncular için  $VO_{2max}$ 'ın yaklaşık %50-60'ına eşittir (Girard ve Millet 2004, Fernández-Fernández ve 2006, Torres-Luque ve ark 2011). Daha düşük  $VO_{2max}$  değerleri nedeniyle daha düşük

standarttaki oyuncular için maksimum oksijen alımının yüzdesi daha yüksek olacaktır, ancak elit oyuncularla aynı yoğunlukta oynamaları olası değildir.

Oyun stili ve maçtaki rol, oksijen alımını etkileyebilir. Smekal ve ark (2001) oksijen alımının servis atan veya geri dönen oyuncular arasında farklı olmadığını, ancak hücumcu veya defansif olarak tanımlanan oyuncular arasında bir fark olduğunu (sırasıyla  $30,8 \pm 5,7$ 'ye karşı  $27,5 \pm 5,1$  ml/kg/dk) bildirmiştir; hücum daha yüksek bir alım ortaya çıkarmıştır. Bu durum, daha defansif bir stile sahip bir başlangıç oyuncusunun, servis atan ve vole atan veya benzer hücum stiline sahip bir oyuncudan daha yüksek bir  $VO_{2max}$  değerine sahip olması beklenmektedir (Bernardini ve ark 1998).

Genellikle daha yavaş olan toprak kort ile sert kort veya çim kort arasında oksijen alımında belirgin bir fark yoktur (Murias ve ark 2007, Fernández-Fernández ve ark 2010). Tenis, birçok tekrarlanan yanıl yer değiştirmeyi içerir ve bu tür hareketlerin genellikle en yüksek  $VO_2$  tepkilerine yol açtığı düşünülmektedir (Williford ve ark 1998). Girard ve Millet (2004) oksijen tüketiminin toprak kortlarda sert kortlara kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

$VO_{2max}$  seviyeleri arttıkça ve azaldıkça, bir sonraki yılın sıralama seviyesinin de buna uyduğu, daha yüksek maksimum oksijen alımının profesyonel turda daha yüksek bir sıralamaya eşit olduğu gösterilmiştir (Banzer ve ark 2008).

#### **1.1.6. Tenis ve Kan Laktatı**

Tenis maçı sırasında kan laktatının 2 ila 4 mmol/L arasında olduğu ifade edilmiştir (Fernandez-Fernandez ve ark 2007, Mendez-Villanueva ve ark 2007, Fernandez Fernandez ve ark 2008). İlk araştırmalar, tenis maçı oyununun yaklaşık 2-3 mmol/L gibi biraz daha düşük laktat değerleri ortaya çıkardığını ileri sürmüştür (Bergeron ve ark 1991, Reilly ve ark 1995, Girard ve Millet 2004).  $VO_2$ 'ye benzer şekilde, daha az antrenmanlı oyunculara tenis maçında 10 mmol/L 'lik en yüksek laktat konsantrasyonları bildirilmiştir (Therminarias ve ark 1990). Antrenmanlı profesyonel oyunculara, en yüksek laktat konsantrasyonlarının 8 mmol/L 'den daha düşük olduğu görülmüştür (Mendez-Villanueva ve ark 2007).

Maç durumu ve oyun stilinin laktat üzerindeki etkisine bakıldığında laktat seviyelerinin servis atarken karşılamaya göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Mendez-Villanueva ve ark 2007). Oyun tipleri arasında hiçbir fark gözlemlenmemiştir (Smekal ve ark 2001, Fernandez-Fernandez ve ark 2007). Toprak kortlarda laktat seviyelerinin sert kortlara kıyasla daha yüksek olduğu vurgulanmaktadır (Girard ve Millet 2004, Murias ve ark 2007), bunun nedeni muhtemelen toprak kortlarda oynandığında beklenen nokta uzunluğunun daha fazla olmasıdır (Fernandez-Fernandez ve ark 2007, Mendez-Villanueva ve ark 2007).

### **1.1.7. Tenis ve Cinsiyet**

2012 ve 2014 yılları arasında Avustralya Açık'ta 197 oyuncudan (102 erkek ve 95 kadın) oluşan bir örneklem üzerinde elit maç oyunu analizi yürütüldü. Bu analize servis performansı, dönüş performansı, yer vuruşu performansı ve hareket özellikleri dahil edildi (Reid ve ark 2016). Çalışma, hem erkeklerin hem de kadınların maç başına ortalama 6'dan biraz fazla servis attığını ve erkeklerin ace yapmasının daha yaygın olduğunu, kadınların ise çift hata yapmasının daha yaygın olduğunu göstermiştir. Erkeklerin en yüksek ve ortalama servis hızlarının kadınlardan daha hızlı olduğu ve erkeklerin geri döndürülmeyen birinci servis atma olasılığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Servis dönüşünü düşündüğümüzde, kadınlar forehand ve backhand arasında nispeten eşit bir dağılım sergilerken, erkeklerin backhand tekniğini daha çok kullandığı belirtilmiştir. Karşılanmayan servis istatistiklerine uygun olarak, kadınların hem birinci hem de ikinci serviste oyuna dönüş yapma olasılığı erkeklerden daha yüksektir. Ayrıca, kadınlar birinci servisi karşılarken erkeklerden daha yakındırlar, ancak temas noktaları daha düşüktür ve dönüşleri, muhtemelen topa yapılan spindeki veya oyuncuların boyundaki farklılıklardan dolayı erkek dönüşlerinden daha düşük bir net boşluğa sahiptir (Reid ve ark 2016). Hem erkekler hem de kadınlar, yaklaşık 1 m'lik temas yüksekliği arasında bir fark olmaksızın maç başına ortalama 4 ila 5 forehand ve backhand vurmuşlardır. Erkekler, temel vuruşlarını kadınlardan daha yukarıda, yani temel çizgiye daha yakın veya içinde vurmaktadırlar. Erkekler ayrıca topa kadınlara kıyasla daha yüksek bir net boşluk ve hızla vurmuşlardır (Reid ve ark 2016).

Bir maç boyunca, erkekler kadınlardan daha fazla mesafe kat etmiştir (sırasıyla  $2110 \pm 839$  ve  $1232 \pm 440$  m). Set başına mesafe, erkeklerin  $572 \pm 152$  m, kadınların ise  $553 \pm 172$  m olarak belirlenmiştir. Temel farklardan biri, erkeklerin ortalama koşu hızının kadınlardan daha hızlı olmasıydı; sırasıyla  $3,68 \pm 0,41$ 'e karşı  $3,43 \pm 0,48$  m/s. Cinsiyetler arasındaki ortak bir özellik olarak, kazanılan puanlarda kaybedilen puanlardan daha fazla mesafe kat edilmesi belirtilmiştir.

2011'de Davis Kupası maçından önce elit erkek oyuncuların ma oyununu profilleyen bir çalışmada, 4 set boyunca, ma ilerledikçe ralli başına vuruş sayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu, artan fizyolojik parametrelerle örtüşmektedir (Gomes ve ark 2011).

### **1.1.8. Tenis ve Psikolojik Faktörler**

Psikolojik baskı birçok farklı durumla ilişkilendirilebilir. Örneğın, risklerin yüksek olduğu, koşulların zor olduğu ve başarısızlık riskinin yüksek olduğu, bireylerin başarısızlık sonrasındaki duygularla baş etmek zorunda kaldığı durumlarda baskı ortaya çıkabilir. Çok aşamalı yarışmalarda olumlu ve olumsuz sonuçlara tepki olarak cinsiyet farklılıkları ortaya çıkabilmektedir. Bireylerin psikolojik duyguları (stres, heyecan gibi) yarışmanın aşamasına göre değişebilmekte ve cinsiyete göre farklı şekilde ele alınabilmektedir. Bu duygular uzun zamandır psikolojik momentum teorisi tarafından değerlendirilmektedir. Kazanan heyecanı ve daha yüksek düzeyde özgüveni deneyimlerken, kaybeden muhtemelen cesaret kırıklığı yaşayacaktır (Gill ve Prowse 2014).

Tenis, psikolojik duygular ile performans arasındaki bağlantıyı araştırmak için özellikle çok uygun bir spordur. Tenis uzmanları ve antrenörleri, oyuncunun duygusal istikrarını "kişinin tenis kortundayken hayal kırıklığı, gerginlik ve kaygıyla başa çıkma yeteneği" başarının temel bileşenlerinden biri olarak görüyor (Giampaolo ve Levey 2013).

Erkeklerin ve kadın sporcuların maçın dengesini değiştiren puana farklı tepkiler verdiklerini, ancak sonuç dengelendiğinde bir galibiyet/mağlubiyetin ardından oluşan anlık duygulara benzer şekilde tepki verdiklerini gösteriyor. Bu durum, kadınların geride kaldıklarında erkeklere kıyasla daha fazla stres ve cesaret kırıklığı yaşamalarına ve bunun da "asla yetişememe sendromuna" yol açmasına, rakipleriyle eşit

hissettiklerinde ise duyguları yönetme konusunda daha yetenekli olmalarına bağlı olabilir (De Paola ve Scoppa 2017).

## 1.2. Sinir Sistemi

Sinir sistemi organizmanın kontrol ve iş birliği mekanizmasıdır (Tortora 1983). Canlılar, iç ve dış ortamda meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişmelere karşı tepki gösterirler. Tepkiye neden olan çevresel değişmelere uyarı (etki) denir (Karbek 1990). İnsan organizmasında var olan iki temel kontrol (regülasyon) sistemi hormonal ve sinirsel kontroldür (Noyan 1993). Sinir sistemi olmadan canlılığın devam etmesine imkan yoktur. Sinir sisteminin iki temel fonksiyonu söz konusudur.

1. Endokrin sistemle birlikte hemoostasi sağlamak (Tortora 1983).

2. Sinir uyarıları ile iç ve dış ortamda meydana gelen değişikliklere akut (ani) tepkinin oluşturulmasıdır (Soykan 2009).

Sinir sistemi iç ve dış ortamda meydana gelen değişiklikleri reseptörler vasıtasıyla algılayarak iskelet kaslarına gönderdiği uyarılarla dış ortam, düz kas, kalp kası ve salgı bezlerine gönderdiği uyarılarla iç ortam değişikliklerine tepki oluşturmakta ve çeşitli düzenlemeleri gerçekleştirmektedir (Akyüz ve Ma 2012).

Canlı varlık tarafından uyarılmaya karşı reaksiyon göstermeyi sağlayan sistemlerin dört temel özelliği vardır ki bunlar;

- Uyarılabilme
- Uyarılma sonucu oluşan sinyalin iletimi
- Canlının kendisi ile uyarın arasında ilişki kurması
- Uyarılmaya cevap verilmesidir (reaksiyon)

Uyarılan bir hücre uyarıya karşı membranının elektriksel özelliklerini değiştirerek reaksiyon gösterir. İnsanlardaki uyarılabilir hücreler ise kas ve sinir hücreleridir (Silbernagl 1989).

Sinir sistemi iç ve dış ortamda meydana gelen değişiklikleri reseptör adı verilen özelleşmiş yapılar aracılığı ile algılar. Reseptörler ise nöronlar ile bağlantılıdır ve

çeşitli enerji tiplerini, mekanik, ışık, ısı, ses dalgaları ve bunun gibi sinir hücrelerinde aksiyon potansiyeline dönüştüren bir çevireç görevi görürler (Meray ve Yenice 2018).

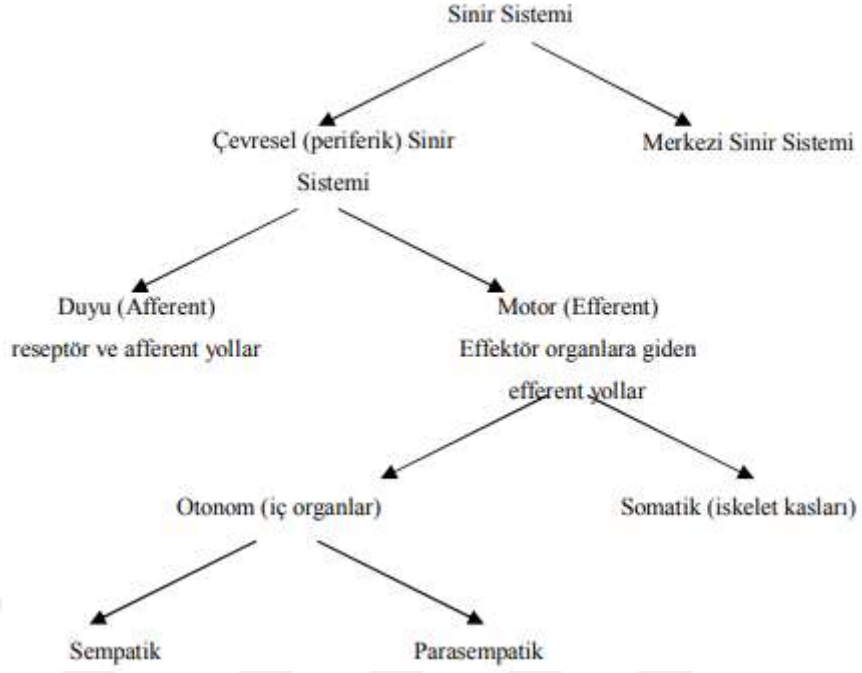
### **1.2.1. Sinir Sistemi Organizasyonu**

Sinir sistemi anatomik olarak ikiye ayrılır. Merkezi sinir sistemi (MSS) ve periferik sinir sistemi (PSS). MSS beyin ve spinal kordu (omurilik); PSS ise MSS' nin dışındaki sinir hücrelerini (sinirleri) içerir (Cantile ve Youssef 2016). PSS iki kısma ayrılır.

1. Duyusal sinir sistemi (Afferent Sistem)

2. Motor sinir sistemi (Efferent Sistem)

Duyusal sinir sistemi duyu organları tarafından alınan duyuların (sinir uyarılarının) MSS'ye gönderilmesinden sorumludur. Sinir uyarılarını dokulardan MSS'ye gönderen sinir liflerine afferent sinirler veya duyu sinirleri adı verilir. Uyarıları MSS' den dokulara gönderen sinir lifleri ise motor veya efferent sinirler olarak adlandırılır. Motor sinir sistemi de somatik (istemli) ve otonomik (istemsiz) sinirler olmak üzere ikiye ayrılır. Somatik motor sinirler iskelet kaslarını, otonomik motor sinirler ise düz kasları (bağırsak ve endokrin bezleri) ve kalp kasını uyarırlar. Otonomik sinir sistemi de sempatik ve parasempatik sinir sistemi olmak üzere ikiye ayrılır ( Fox 1990, Cantile ve Youssef 2016).



Şekil 1.2. Sinir sistemi (Soykan 2009)

### 1.2.2. Otonom Sinir Sistemi

Kalp atım hızı değişkenliği, otonom sinir sisteminin kalp üzerindeki kontrolünün bir temsilidir. Otonom sinir sistemi ağrının, inflamasyonun ve doku onarımının düzenlenmesinde önemli bir rol oynar (Williams ve ark 2017). Oksijen tedarikini dış zorlukların talepleriyle eşleştirmek için farklı organ ve dokuları entegre ederek bireyin metabolik homeostazisini kontrol eden bir sinyal sistemleri ağıdır (Chen ve ark 2011).

Otonom sinir sistemi iki bölümden oluşur;

- Sempatik
- Parasempatik (Nugent ve ark 2011).

Sempatik bölüm öncelikle vücuttaki "Savaş ya da Kaç" ya da uyarılma tepkisinden sorumludur ve stres etkenlerine yanıt olarak etkinleştirildiğinde kalp atım hızını artırır (Hemingway ve ark 2005). Parasempatik bölüm öncelikle vücuttaki "Dinlenme ve Gevşeme" veya geri çekilme tepkisinden sorumludur ve etkinleştirildiğinde kalp atım hızını azaltır. Parasempatik kontrol vagal tonla eş anlamlıdır çünkü kalp üzerindeki etkisi Vagus siniri tarafından kontrol edilir. Otonom

sinir sisteminin her iki bölümü de istirahat halinde aktiftir ve kalp atım hızının dinamik kontrolünü ve düzenlenmesini temsil eder (Hemingway ve ark 2005).

Kalp, otonom sinir sistemi, daha spesifik olarak parasempatik bölüm tarafından tonik önleyici kontrol altındadır. Bu parasempatik baskınlık veya vagal ton, dinlenme durumuyla ilişkilidir. Kalp atım değişkeni değerlendirilirken kalp hızı, standart bir EKG'de R dalgaları arasındaki aralıklar (R-R aralıkları) hesaplanarak ölçülür; bu aralıklar kalp atım hızı değişkenliğini temsil eder. Kalp hızı arttığında, R-R aralıkları kısalmır ve bu, parasempatik bölümün geri çekilmesi veya sempatik bölümün etkinleştirilmesiyle gerçekleştirilir (Campbell ve ark 1989). Egzersiz sırasında sempatik sinir sistemi aktivitesindeki artış, dış zorlukların fizyolojik taleplerini karşılamak için artan oksijen talebini yansıtır (Chen ve ark 2011). R-R aralığı ölçümü, her biri farklı türdeki kalp atım hızı değişkenliğini temsil eden zamana dayalı ve frekansa dayalı hesaplamalarda değerlendirilir (Tyagi ve ark 2016).

### 1.2.3. Sempatik Sinir Sistemi

SSS, OSS'nin diğer bileşenlerinin yanı sıra vücudun iç organlarının çoğunun kontrolüne yardımcı olur. Homeostaziyi korumak için bazal düzeyde sürekli olarak aktiftir. SSS'nin onu PSS'den ayıran benzersiz anatomik ve işlevsel özellikleri şunlardır:

- Torasik ve lomber omurilikten kaynaklanır.
- Hedef organdan uzakta, omuriliğin yakınındaki sinapsları aracılık eder. Sinapsların çoğu omuriliğin yakınındaki paravertebral ganglionlardadır. Preganglionik lifler kısa iken, postganglionik lifler uzundur.
- Sempatik nöronlar yoğun bir şekilde dallanır. Bir hücre birçok hedef hücreyi innerve edebilir ve vücutta daha genel sempatik tepkilere yol açabilir. Ancak bazı reflekslerde seçici olarak da hareket edebilir.
- Vücudun aktiviteye, strese, tehlikeye veya çevresel zorluğa karşı "savaş ya da kaç" tepkisini aracılık eder.
- Sempatik uyarım bazı dokuların uyarılmasına, ancak diğerlerinin inhibisyonuna neden olabilir. Örneğin, arteriyol düz kasının kasılması

ve bronşiyol düz kasının gevşemesi sempatik uyarım sonucu gerçekleşir (Shi 2010).

SSS genellikle vücudun kaynaklarını stres altında nispeten hızlı bir tepkiyle harekete geçirmek için çalışır, buna "kaç ya da savaş" tepkisi denir. Bu tepkiye ayrıca vücudun simpato-adrenal tepkisi de denir, çünkü sempatik sinir sistemi aracılığıyla iletilen uyarılar aracılığıyla doğrudan ve daha yaygın ve kapsamlı bir etkiye sahip olan adrenal medulladan salgılanan katekolaminler aracılığıyla dolaylı olarak aracılık eder. "Savaş ya da kaç" tepkisiyle kolaylaştırılan tipik fizyolojik reaksiyonlar arasında kalp ve akciğer eyleminin hızlanması, mide ve üst bağırsak eyleminin engellenmesi (sindirim yavaşlar veya durur), vücudun birçok yerindeki kan damarlarının daralması ancak kaslar için kan damarlarının genişlemesi, kas eylemi için besinlerin (özellikle yağ ve glikoz) serbest bırakılması, gözyaşı bezinin ve tükürüğün engellenmesi, göz bebeğinin genişlemesi, mesanenin gevşemesi, titreme vb. bulunur. Gerçekten de, SSS'den gelen lifler neredeyse her organ sistemindeki dokuları innerve eder ve göz bebeği çapı, bağırsak hareketliliği ve idrar çıkışı gibi çeşitli şeylere en azından bazı düzenleyici işlevler sağlar (Shi 2010).

#### **1.2.4. Parasempatik Sinir Sistemi**

PSS'nin SSS'den farklı bazı anatomik ve işlevsel özellikleri şunlardır:

- Parasempatik preganglionik nöronlar beyin sapında ve omuriliğin sakral segmentlerinde ortaya çıkar.
- Ara sinaps hedef organdadır (veya yakınındadır). Bu nedenle preganglionik lifler uzunken, postganglionik lifler çok kısadır.
- Nöronların çok az dallanması bulunur (bir nöron sadece birkaç hedef hücreyi innerve eder). Bu, düzenleme için özel, hassas bir kontrol sağlar. Büyük deşarjlar yoktur.
- PSS vücut duvarındaki yapıları (yani kas ve deri) veya çoğu kan damarını innerve etmez.
- Vücudun "ev işleri" işlevlerinden sorumludur, bunların çoğu yaşam için hayati önem taşır.

- Enerjinin korunması veya restorasyonunda ("dinlen ve sindir" tepkisi) yer alır ve anında tepki gerektirmeyen eylemleri aracılık eder (Shi 2010).

Parasempatik bölüm, "dinlen ve sindir" tepkisi olarak bilinen veya salivasyon, lakrimasyon, idrar, sindirim ve dışkılama olarak ifade edilen, anında tepki gerektirmeyen eylemlerle çalışır. Genellikle vücudun normal bakımını destekler-vücut rezervlerini korur, yeniler ve atıklardan kurtulur. Dolayısıyla, vücutta keyif, dinlenme ve onarımla ilişkili gevşeme tepkilerine aracılık eder. PSS'nin aktivasyonu ile kolaylaştırılan tipik fizyolojik reaksiyonlar arasında sindirim ve bağırsak hareketliliği, dinlenme ve iyileşme, yakıt depolama, enfeksiyona karşı direnç, hayati olmayan organlara (deri, ekstremiteler, vb) dolaşım ve endorfin salınımı bulunur. PSS'nin aktivasyonu ayrıca kalp atış hızını, kan basıncını ve sıcaklığı düşürme ve nefes almayı yavaşlatma işlevi görür. Dahası, PSS cinsel uyarılmaya da katılır ve akomodasyon sırasında PSS göz bebeğinin daralmasına ve merceğe giden siliyer kasın kasılmasına neden olarak daha yakın görüş sağlar (Shi 2010).

#### **1.2.5. Sempatik ve Parasempatik Sinir Sistemi Arasındaki İşlevsel İlişki**

Çoğu organın hem sempatik hem de parasempatik innervasyonları vardır ve bu iki bölüm genellikle birbirine zıt olarak işlev görür. Ancak bu karşıtlık, antagonist olmaktan ziyade karşılıklı veya sinerjik nitelikte olarak daha iyi anlaşılır. Bir benzetme yapmak gerekirse, sempatik bölümü hızlandırıcı, parasempatik bölümü ise fren olarak düşünebiliriz; çünkü sempatik bölüm genellikle hızlı tepki gerektiren eylemlerde işlev görürken, parasempatik bölüm hemen tepki gerektirmeyen eylemlerde işlev görür. Ancak, sempatik ve parasempatik aktivitenin birçok örneği "savaş" veya "dinlenme" durumlarına atfedilemez (Shi 2010).

Sempatik ve parasempatik bölümlerin karşılıklılığı ve sinerjisi üç örnekle açıklanabilir:

- 1) Kalp, kalp hızını, iletim hızını ve kasılma kuvvetini (kontraktilite) düzenlemek için karşılıklı olarak işlev gören hem sempatik hem de parasempatik innervasyonlara sahiptir. Sinoatriyal (SA) düğümün kalp hızını kontrol etmek için otonomik innervasyonu tipik bir örnektir. SA düğümü kalbin normal kalp pilidir ve depolarizasyon hızı genel kalp

hızını belirler. Sempatik aktivitedeki artış kalp hızını artırırken, parasempatik aktivitedeki artış kalp hızını azaltır. Antagonistik ilişkileri şu şekilde açıklanabilir: Kan basıncında bir düşüş varsa, beyin sapındaki vazomotor merkezleri bu düşüşü algılar ve aynı anda SA düğümüne sempatik aktivitede bir artış ve parasempatik aktivitede bir düşüş üretir. Bu eylemlerin her biri kalp hızını artırma etkisine sahiptir. Ancak, bu iki etki birbirleriyle rekabet etmez, bunun yerine kalp atış hızını artırarak normal kan basıncını geri kazandırmak için sinerjik olarak hareket eder.

- 2) Başka bir örnek de idrar kesesinin işlevsel kontrolüdür. Mesane duvarının detrusor kası ve iç mesane sfinkteri düz kastan oluşur ve her biri hem sempatik hem de parasempatik innervasyonlara sahiptir. Mesane idrarla dolduğunda sempatik kontrol baskındır. Bu sempatik aktivite, mesane duvarının detrusor kasının gevşemesine ve iç mesane sfinkterinin kasılmasına neden olarak mesanenin idrarla dolmasını sağlar. Mesane dolduğunda, bu doluluk mesane duvarındaki mekanoreseptörler tarafından algılanır ve daha sonra beyin sapında iletilir ve işlenir. Bundan sonra parasempatik kontrol baskındır. Bu parasempatik aktivite, mesane duvarının detrusor kasının kasılmasına (basıncı artırmak ve idrarın atılmasına yardımcı olmak için) ve iç mesane sfinkterinin gevşemesine neden olarak idrar yapmaya yol açar.
- 3) Pupil (göz bebeği) boyutu da sempatik ve parasempatik bölümler tarafından sinerjik olarak kontrol edilir. İrisin radyal kasları pupillanın genişlemesinden (midriyazis) sorumludur ve sempatik innervasyonla aktive edilebilirken, irisin dairesel kasları pupillanın daralmasından (miyozis) sorumludur ve parasempatik innervasyonla pozitif olarak kontrol edilir (Shi 2010).

Sempatik ve parasempatik bölünmeler tarafından fizyolojik bir işlevi kontrol etmek için bir başka işlevsel ilişki türü, etkilerini farklı işlevsel koşullar altında göstermeleridir. Örneğin, daha büyük memelilerde, vücut pozisyonu ve zihinsel uyarılma değişiklikleri sırasında kalp atış hızındaki hızlı değişiklikler, SA düğümünün kalp pili hücrelerine parasempatik innervasyonun aktivitesindeki değişiklikler yoluyla üretilirken, egzersiz sırasında kalp atış hızındaki sürekli artış esas olarak sempatik

bölümün aktivitesinin artmasıyla üretilir. Ek olarak, sempatik ve parasempatik bölümler, bu işlevin farklı yönlerini kontrol ederek aynı fizyolojik işlevi etkilemek üzere hareket edebilir. Örneğin, erkek genital organlarındaki erkek cinsel tepkisi açısından, sempatik aktivite boşalmayı kontrol ederken, parasempatik aktivite ereksiyonu kontrol eder (Shi 2010).

Karşılıklı innervasyonun genelleştirilmesine ilişkin bazı dikkate değer istisnalar da vardır. Ter bezleri, vasküler düz kas, cildin pilomotor kasları, karaciğer, yağ dokusu ve böbrek dahil olmak üzere birkaç organda yalnızca sempatik innervasyon vardır. Bu organların aktivite seviyesinin düzenlenmesi OSS'nin sadece bir bölümü tarafından kontrol edilir ve bu sinir sisteminin özel bir nöral özelliği olan "ton" sayesinde elde edilir. Sempatik bölüm, innerve ettiği organlar üzerinde sürekli bir etki uygular ve bu sürekli kontrol seviyesine "sempatik ton" denir. Tonu artırarak veya azaltarak innerve edilen hedef etkili bir şekilde uyarılabilir veya inhibe edilebilir (Shi 2010).

#### **1.2.6. Otonom Sinir Sistemi ve Biyolojik Stres**

OSS, bilinçdışı bedensel işlevleri kontrol eden ve düzenleyen periferik sinir sisteminin bir parçasıdır (Schmidt ve Thews 1989). Bu işlevler arasında kalp atış hızı, sindirim, solunum hızı, gözbebeği tepkisi, idrara çıkma ve cinsel uyarılma yer alır. OSS, beyin sapından kaynaklanan entegre refleksler aracılığıyla omuriliği ve organları düzenlemek için çevreden gelen bilgileri kullanır. Çok sayıda araştırma OSS'nin aynı zamanda duygu ifadesinde de rol oynadığını ileri sürmektedir. OSS'nin iki bölümü olan sempatik sinir sistemi (SSS) ve parasempatik sinir sistemi (PSS) de duygu ifadesinde rol oynar (Kreibig 2010).

İki benzer teori, ebeveynler arası çatışmanın OSS tepkisini nasıl değiştirebileceğini açıklıyor. İlk teori, OSS'nin kronik ve uzun süreli aktivasyonunun, allostasis ve allostatik yük nedeniyle olumsuz fiziksel ve psikolojik sonuçlara yol açtığını öne sürmektedir (Goldstein ve McEwen 2002). Allostasis, vücudun akut stres altında stabiliteyi sürdürme yeteneğini ifade ederken, allostatik yük ise bu stabilitenin vücutta korunmasının sonuçlarını ifade eder. Stres kronik veya uzun süreli olduğunda bu durum "sıkıntıya" yol açar. Bu bağlamda sıkıntı, rahatsız edici bir deneyimin ardından allostasisin normal işleyişi yeniden sağlamak veya sürdürmek için yeterli

olmadığı durumlarda ortaya çıkan bir stres biçimidir (Goldstein ve McEwen 2002). OSS içindeki bir sistemin uzun süreli ve yoğun aktivasyonu, stres tepki sisteminde yer alan organ ve dokularda "aşınma ve yıpranmaya" neden olabilir ve bu da kalp-damar hastalıkları, beyin bölgelerinin atrofisi ve bağışıklık sistemi yetersizlikleri gibi birçok olumsuz sağlık sonucuna yol açabilir (McEwen 2000, Goldstein ve McEwen 2002).

Tartışılacak ikinci önemli teori, bağlam teorisine biyolojik duyarlılıktır. Bu teori, psikopatoloji riskine karşı korunmak veya riski arttırmak için çevrenin bireysel mizaç, genetik veya OSS tepkisi ile etkileşime girdiğini öne sürmektedir. Bağlama karşı biyolojik duyarlılığı yüksek olan çocuklar, yüksek stresli ortamlarda olumsuz sonuçlar açısından daha fazla risk altında olabilir, ancak son derece besleyici, zenginleştirilmiş veya iyi huylu ortamlardan nispeten daha fazla fayda elde edebilirler. Dahası, bu teori, insanların çocukken çevreleri hakkındaki bilgileri tespit etmek için bir mekanizma geliştirdiklerini ve stres tepki sistemlerimizi en uygun şekilde yanıt verecek şekilde ayarlamamıza olanak tanıdığını öne sürüyor (Boyce ve Ellis 2005).

### **1.2.7. Otonom Sinir Sistemi ve Egzersiz Yorgunluğu**

Overreaching ve overtraining, stres yenilenme dengesizliğini tanımlayan sendromlardır. Bu sendromların her birinin kendi sınıflandırması vardır, ancak hepsi uyku bozukluğu, hormonal değişiklikler, yüksek düzeyde yorgunluk ve ciddi düzeyde performans azalması gibi olumsuz sonuçlarla karakterize edilir (Plews ve ark 2012). Overreaching, antrenman stresinin birikmesi ve performansta kısa süreli bir düşüş anlamına gelir ve atletik antrenman sürecinin normal bir parçası olarak kabul edilir ve bir ila iki hafta dinlenerek telafi edilebilir (Baumert ve ark 2006). Overreaching, uygun miktarda dinlenme ve toparlanma olmaksızın antrenmana devam edilerek göz ardı edilirse, overtraining sendromuna daha da dönüşebilir. Overtraining sendromu, atletik performansta uzun vadeli düşüslere neden olan antrenman ve antrenman dışı stres birikimiyle karakterize edilir. Fizyolojik ve psikolojik semptomlara ek olarak, aşırı antrenmanın tedavisi, aşırı antrenman stresini ortadan kaldırmak için aylarca hareketsizlik gerektirir (Meeusen ve ark 2013). Uzun süreli aşırı uzanma ve aşırı antrenman, hem olumsuz sağlık sonuçlarına hem de atletik performansa neden olacaktır (Plews ve ark 2012).

Overtraining sendromu, antrenman aktivitesi ile dinlenme ve toparlanma arasındaki dengesizlik olup otonomik kardiyovasküler kontrolü olumsuz yönde etkiler ve sporcular için ciddi bir sorun olmaya devam eder (Plews ve ark 2012). Overtraining sendromu, otonom sinir sisteminin hem sempatik hem de parasempatik bölümünü etkileyen belirtilere ayrılabilir. Overtraining ilk aşamalarında sempatik bölünme dinlenme sırasında daha baskındır; oysa daha ileri evrelerde parasempatik bölünme dinlenme sırasında daha baskındır (Plews ve ark 2012). Sporcuların iyileşme ve antrenman durumlarını izlemeye yönelik invazif bir aracın geliştirilmesi, antrenörlerin ve antrenman uzmanlarının, sporcuların atletik müsabakalara en iyi şekilde hazırlanmasına ve aşırı antrenmanın olumsuz etkilerinden kaçınmasına yardımcı olmasına olanak tanıyacaktır (Chen ve ark 2011). Overreaching ve overtraining her ikisi de otonom sinir sistemini etkilediğinden, kalp atım hızı değişkenliği ölçümleri, profesyonel atletlerde aşırı uzanmayı ve aşırı antrenmana doğru ilerlemeyi tespit etmek için kullanılabilir (Mourrot ve ark 2004).

Dinlenik kalp atım hızı değişkenliği, bir sporcunun yoğun antrenmana katıldıktan sonraki iyileşme durumunun bir göstergesidir ve bu nedenle aşırı antrenmanı tanımlamak için kullanılabilir (Flatt ve ark 2016). Aşırı antrenman otonom sinir sisteminin hem sempatik hem de parasempatik bölümlerini etkileyebilir; aşırı antrenmanın erken aşamaları sempatik baskınlık sergilerken daha ileri aşamaları parasempatik baskınlık sergiler (Plews ve ark 2012). Parasempatik aktivitenin bastırılmış ölçümleri aşırı antrenmanla ilişkilendirilmiştir (Flatt ve ark 2016). Çalışmalar, yoğunlaştırılmış antrenman dönemleriyle örtüşen parasempatik vagal aktivitede azalma ile birlikte sempatik aktivitede bir artış olduğunu bildirmektedir. Bu değişkenlerin sporcularda tutarlı bir şekilde ölçülmesi, uygulayıcıların aşırı antrenmanın uyarı işaretlerini gelişim sürecinin erken safhalarında görmesine ve müdahalelerin kullanılmasına olanak tanıyacaktır. Kalp atım hızı değişkenliği, artan antrenman yüklerine verilen otonom tepkileri yansıtır ve vücudun antrenman ve dinlenmeye verdiği tepkiyi izlemek için bir araç olabilir (Baumert ve ark 2006).

Kalp atış hızı değişkenliğinin değerlerinin izlenmesi, sporcularda meydana gelen yorgunluk ve adaptasyona ilişkin önemli bilgiler sağlar (Flatt ve ark 2016). Çalışmalar, haftalık kalp atış hızı değişkenlik göstergelerinin egzersiz yükü, yorgunluk ve ağrıdaki haftalık değişikliklerle yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Düşük kalp

atım hızı değerleri tipik olarak sezon öncesi antrenman sırasında ve ayrıca yorgunluk seviyelerinin son derece yüksek değerlerde olduğu sezon sonunda rapor edilir (Schmitt ve ark 2015). Parasempatik aktivitedeki bu azalma, sporcudaki homeostatik dengenin tam olarak iyileşmediğini yansıtır. Egzersiz sonrası kardiyak parasempatik aktivitenin normal dinlenme değerlerine dönmesi tam 24 ila 72 saat sürebilir (Flatt ve ark 2016). Sürekli antrenman gerektiren üst düzey sporcular için 24 ila 72 saatlik bir iyileşme süresi pratik değildir. Temel dinlenme kalp atım hızı değişkenliği ölçümlerinin oluşturulması ve kullanılması, parasempatik aktiviteyi gösterebilir ve hem akut hem de kronik eğitim adaptasyonlarını yansıtabilir (Rave ve ark 2016).

### **1.2.8. Otonomik Fonksiyonu Değerlendiren Testler**

Otonom sinir sistemi (OSS), sinir sisteminin bir parçası olan iç organların işleyişinin düzenlenmesi ve entegrasyonundan sorumludur. Endokrin ve immünolojik sistemler ile birlikte organizmanın iç ortamının durumunu belirler ve mevcut gereksinimlerine uyarlar, böylece iç ortamın dış ortamdaki değişikliklere adapte olmasını sağlar. Sigara alkol kafein gibi birçok faktör otonom sinir sistemini etkilemektedir. Otonom sinir sistemi ölçümü için

- Nöradrelin yayılma hızı,
- Nörotransmitter seviyelerinin ölçülmesi,
- Radyoizotop teknikler,
- Sudomotor fonksiyon testi,
- Sempatik cilt yanıtı,
- Mikronörografi,
- Kantitatif sudomotor akson refleksi testi ve günümüzde en popüler olarak kullanılan
- Kalp hızı değişkenliği analizi kullanılmaktadır (Zygmunt ve Stanczyk 2010 ).

### **1.2.9. Kalp Atım Hızı**

Kalp, vücudun her yerine kan iletimi için düzenli ve sürekli kasılmalarla işlev gören özel bir pompadır (Boudoulas ve ark 2014). Pompalama eylemi, kalp hızı (KH) veya kalp nabızı olarak bilinen bir döngüde kendini tekrarlayan kalpten geçen bir elektrik akışı tarafından oluşturulur. KH, zaman birimi başına kasılma sayısı ile ölçülen kalp atış hızıdır (Rajendra ve ark 2006).

Kalp atım hızının (KAH) sempatik ve parasempatik sistemlerden gelen innervasyonların düzenleyici kontrolü altında olan kardiyovasküler otonomik parametreleri değerlendirmek için önemli bir yöntem olduğu öne sürülmüştür (Hemingway ve ark 2005, Boullosa ve ark 2009). Özellikle, otonom sinir sisteminin (OSS) bu iki bileşeni arasındaki denge, kalp atışları arasındaki süredeki tutarlılığı etkiler. Yani KAH kalp döngüsü süresindeki dalgalanmaları zaman içinde yansıtır ve genellikle düzenleyici etkilerin, özellikle kardiyovasküler sistemin işlevini düzenlemek için OSS aktivitesinin ölçüsü olarak kabul edilir (Hemingway ve ark 2005).

KAH büyük ölçüde hastalık ilerlemesini değerlendirmede ani kardiyak ölüm ve diyabetik nöropatileri tahmin etmek için uygulanırken (Khandoker ve ark 2009, Tereshchenko ve ark 2012), son çalışmalar KAH'nin egzersiz eğitiminde uygulandığını göstermiştir. KAH'nin OSS'nin sempatik ve vagal bileşeninin kardiyak modülasyonunu yansıtan bir belirteç olarak kullanılmasını desteklemiştir ve KAH'nin izleme endekslerinin, gelişmiş performanslara yol açan optimum antrenman yüklerini belirlemek için antrenman adaptasyonu/uyumsuzluğunun zaman çizelgesini izlemek için yararlı olabileceğini öne sürmüştür (Amano ve ark 2001, Plews ve ark 2012, Oliveira ve ark 2013). Özellikle, tüm antrenmanın amacı, homeostaziyi ve tüm otonomik dengeyi aktarmak için vücuda yeterli fiziksel antrenman yükünün kullanılmasıdır. Sporcular, vücudun yeterli bir şekilde iyileşmesi sırasında fizyolojilerini daha iyi adapte edebilirler (Kaikkonen ve ark 2012). Ancak, antrenmanın uzun ve kısa vadeli etkilerinin ve sporcuların durumunun yanı sıra antrenmanın verimliliği ve antrenmanın faydalarını en üst düzeye çıkarmak için iyileşme seviyesinin ne kadar olacağı henüz belirlenmemiştir. Bununla birlikte, hareketsiz ve aktif kişiler veya farklı spor dallarına katılan sporcular arasında OSS'yi karşılaştıran çalışmalar (Vesterinen ve ark 2013) farklı KAH profilleri göstermiştir ve bu durum fiziksel ve fizyolojik durumları iyileştirmek için KAH endekslerinin izlenmesi olasılığını düşündürmektedir.

### **Kalbin otonom innervasyonları**

Kalp ve dolaşım sistemi, öncelikle beyin sapının üst kısmında bulunan yüksek beyin merkezi (merkezi komut) ve kardiyovasküler kontrol alanı tarafından, OSS'nin aktivitesi aracılığıyla kontrol edilir. OSS, öncelikle medulla tarafından düzenlenen

kalbe ve kan damarlarına giden sempatik ve parasempatik sinirleri (vagal sinirler) içerir (Triposkiadis ve ark 2009). Özellikle medulladaki nucleus tractus solitarius duyuşal girdi alır ve duyuş ve fiziksel stres için kardiyovasküler tepkileri uyarır. Medulladan, parasempatik vagus siniri kalbi sempatik sinir liflerine innerve eder. Sağ ve sol vagus sinirleri sırasıyla sinoatriyal (SA) ve atrioventriküler düğümüleri innerve eder. Atriyumlar da vagal efferent tarafından innerve edilirken, ventriküler miyokard vagal efferent tarafından seyrek olarak innerve edilir. Sempatik eferent sinirler atriyum boyunca, özellikle SA düğümü ve ventriküllerde bulunur. Sempatik uyarım KH'yi, kasılmayı ve iletim hızını  $\alpha$  ve  $\beta$  adrenoreseptörleri aracılığıyla artırır. Parasempatik uyarım muskarinik reseptör aracılığıyla zıt etkilere sahiptir. Kardiyovasküler sistemin otonomik kontrolü ayrıca baroreseptörler, kemoreseptör, kas afferentleri, lokal doku metabolizması, dolaşımdaki hormonlar ve çevresel davranıştan (Bosquet ve ark 2003) tarafından etkilenir. Sempatik ve parasempatik sistemler dinlenme halinde aktif olsa da, parasempatik lifler asetilkolin salgılar ve bu da SA düğümünün kalp pilinin potansiyelini geciktirir ve böylece KH'yi azaltır (Campbell ve ark 1989).

### **KAH'nin OSS düzenlemesi**

KAH, kalbin atıştan atışa değişimini ifade eder. Dinlenme koşullarında ölçülen sağlıklı bir bireyin EKG'si, solunum sinüs aritmisi (SSA) olarak bilinen ritmik periyodik varyasyon gösterir. SSA, inspirasyon sırasında kardiyo-hızlanma ve ekspirasyon sırasında kardiyo-yavaşlama ile solunum fazına göre dalgalanır. Sinüs düğümüne vagal eferent trafiği öncelikle ekspirasyon fazında meydana gelir ve inspirasyon sırasında yoktur veya zayıflar. Bu veriler, SSA'nın ağırlıklı olarak kalbe giden parasempatik eferent aktivitesinin solunum kapısı tarafından aracılık edildiğini belirler; KAH'yi dinamik ve kümülatif yüklerin bir belirteci olarak adlandırır. Yüklerin dinamik bir belirteci olarak KAH, akut strese karşı hassas ve duyarlı görünmektedir. Deneysel olarak, zihinsel yükün (yani karmaşık kararlar alma, topluluk önünde konuşma görevleri) KAH'yi azalttığı gösterilmiştir. Kümülatif aşınma ve yıpranmanın bir belirteci olarak KAH, yaşlanma süreciyle birlikte de azalır. KH'si yaşlanmayla değişmez (Ogliari ve ark 2015). KAH'deki azalma, eferent vagal tondaki azalmaya ve  $\beta$ -adrenerjik yanıtın azalmasına bağlanmıştır. Buna karşılık, düzenli fiziksel aktivite yaşlanma sürecini geciktirir ve muhtemelen vagal tonu artırarak KAH'yi artırır. Bu nedenle, KAH sık aktivasyonun (akut strese yanıt olarak KAH'de kısa süreli düşüşler)

ve yetersiz yanıtın (karşıt düzenleyici sistemin aşırı aktivitesiyle sonuçlanan uzun vadeli vagal geri çekilme) bir belirteci olarak kabul edilir ve bu da kardiyak ritmin sempatik kontrolüne yol açar (Ogliari ve ark 2015).

### **Sporda HRV uygulaması**

Farklı spor aktiviteleri için antrenman yapan sporcular arasında belirgin fiziksel ve fizyolojik farklılıklar olmasına rağmen, KAH spor bilimlerinde en çok kullanılan antrenman ve iyileşme izleme araçlarından biri haline gelmektedir (Plews ve ark 2013). Bu çeşitlilikte KAH'nin uygulanması olasılığı, kardiyovasküler otonomik düzenlemenin antrenman etkilerine yanıt vermeden önce antrenman adaptasyonlarının önemli bir belirleyicisi olması gerçeğine dayanmaktadır. Bu gözlemlerle uyumlu olarak, hareketsiz denekler ile eğlence amaçlı aktif denekler veya farklı spor modalitelerine sahip sporcular arasında yapılan bir OSS karşılaştırması, sporcuların sedanter kontrol deneklerine göre farklı bir KAH profili sergilediğini, KAH ve parasempatik kardiyak modülasyonda genel bir artış olduğunu göstermiştir, kanıtlar ise yüksek yoğunluklu antrenmanın kronik olarak vagal kardiyak modülasyondan sempatik kardiyak modülasyona geçişe yol açabileceğini göstermektedir. Amatör maraton sporcularında, en yüksek antrenman yükünde kademeli sempatik baskınlık yarıştaki performansları tahmin edebilir (Triposkiadis ve ark 2009). Dayanıklılık ve takım atletik aktivitelerinin 24 saatlik kayıt periyodu boyunca yükselmiş bir parasempatik modülasyona neden olduğu gösterilmiştir (Vanderlei ve ark 2008). Bu nedenle, dayanıklılık elit sporcuları, rekreasyonel kişilere ve sedanterlere kıyasla yükselmiş bir parasempatik tona sahiptir; bu da atletik kondisyonun kalbin otonomik kontrolünü etkileyen önemli bir değişken olduğunu doğrulamaktadır.

### **Spor antrenman yoğunluğuna bağlı KAH uygulaması**

KH, oksijeni emme ve karbondioksiti atma ihtiyacı, fiziksel egzersiz, uyku, anksiyete, stres, hastalık, yutma ve ilaçlar gibi vücudun fiziksel ihtiyaçlarına göre değişir (Posadzki ve ark 2015). Sporcularda, sempatovagal denge, aerobik antrenmanın farklı yoğunluklarına ve sürelerine yanıt olarak değişir. Bu, düşük frekans, yüksek frekans ve frekans alanının toplam gücü dahil olmak üzere ölçülen KAH değişkenlerindeki, yoğunluğa bağlı bir şekilde değişikliklerle kanıtlanmıştır

(Triposkiadis ve ark 2009). Egzersizde düşük frekans ve yüksek frekans tarafından belirtilen KAH spektrumlarının sonuçları, ventilasyon eşiklerine (Pichon ve ark 2004) göre işlev açısından değişir ve nispeten daha az yoğun egzersiz sırasında sempatik bir baskınlık ve nispeten daha yoğun egzersiz sırasında parasempatik bir baskınlık olduğu belirtilmektedir.

Cottin ve ark (2004) yorgunluğa kadar orta yoğunluklu test veya yüksek yoğunluklu test ile zorlanan bölgesel elit triatloncuların (15 yaşında) araştırılmasında, R-R aralığını  $VO_2$ ,  $VCO_2$  ve kan laktat düzeyleri ile birlikte ölçtüler. Araştırmacılar, yüksek yoğunluklu bisiklete kıyasla orta yoğunlukta daha yüksek mutlak düşük frekans, yüksek frekans ve ventilasyon eşik değerleri buldular. Normalizasyon, düşük frekansın ventilasyon eşiğinin altında bisiklete binmede önemli ölçüde daha yüksek olduğunu gösterdi, bu da sempatik girdinin baskın olduğunu gösterirken, ağır egzersiz sırasında tam tersinin gözlemlendiğini ve parasempatik girdinin baskın olduğunu gösterdi. Bu veriler, ağır egzersiz koşullarıyla oluşan kardiyak otonomik kontrolün ortadan kalkmasıyla birlikte solunum hızındaki bir değişiklikte açıklanabilir.

#### **1.2.10. Tenis ve Kalp Atım Hızı**

Antrenmanlı ve elit tenis oyuncularında bir maçta gözlemlenen ortalama KH değerleri birçok kez belirlenmiş olup ortalama 140-160 atım/dk aralığındadır (Groppel ve Roetert 1992, Ferrauti ve ark 2001, König ve ark 2001, Girard ve ark 2006, Gomes ve ark 2011, Hornery ve ark 2007, Murias ve ark 2007) Bu aralık bu oyuncular için KH maksimumunun yaklaşık %70-80'ine eşittir (Reilly ve ark 1995, Christmass ve ark 1998, Torres ve ark 2004). Elit erkek tenis oyuncularında ilk maç setinde biraz daha düşük bir KH (120-140 atım/dk) gözlemlenmiştir (Gomes ve ark 2011). Biraz daha yüksek bir KH maksimum yüzdesine eşit olan benzer bir aralık, daha yaşlı oyuncular da maç oyunu sırasında da gözlemlenmiştir (Fernández-Fernández ve ark 2009). Tenis aralıklı bir spor olduğu ve KH sürekli değiştiği için maç oyunu sırasında KH'nin 190-200 atım/dk'ye ulaştığı zamanlar olabilir; bu, maçtaki farklı noktalarda kardiyovasküler sisteme binen farklı talepleri göstermenin yararlı bir yoludur (Smekal ve ark 2001, Girard ve Millet 2004, Torres ve ark 2004). KH'nin ortalama aralığın üzerine çıkması ve ardından dinlenme dönemlerinde ortalama aralığın altına düşmesi muhtemeldir. Bu, tenisin hem anaerobik doğasını (puanlar dahilinde) hem de aerobik

doğasını (uzun ömürlülük ve tekrarlanan eylemler) göstermektedir (Bergeron ve ark 1991).

KH'nın servis oyunları sırasında yükselmiş olma olasılığı vardır, Fernandez-Fernandez ve ark (2007) 166 atım/dk'lık bir KH gözlemiştir. Ancak, servis ve dönüş oyunları arasında da hiçbir fark olmadığı bildirilmiştir (Smekal ve ark 2001). Bununla birlikte, diğer bazı araştırmalar da KH'nın dönüş oyunlarına kıyasla servis atarken arttığı konusunda hemfikirdir (Elliott ve ark 1985, Davey ve ark 2003, Fernandez-Fernandez ve ark 2007).

Kort yüzeyinin KH'yi etkileyip etkilemediği henüz literatürde kabul edilmemiştir. KH'nin toprak kortta oynarken sert korttan daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Murias ve ark 2007). Fakat sert kortta oynarken toprak korta kıyasla daha yüksek bir KH olduğunu ifade eden çalışmalarda yer almaktadır (Hornery ve ark 2007). Ayrıca değişen yüzey nedeniyle bir fark olmadığını ifade eden çalışmalar da literatürde mevcuttur (Fernandez-Fernandez ve ark 2010).

Kalp atış hızının ayrıca sirkadiyen ritim ve çevre koşulları da dahil olmak üzere çok sayıda başka faktörden etkilendiği bilinmektedir (Kovacs 2006).

### **1.2.11. Kalp Atım Hızı Değişkenliği Parametrelerinin Yorumlanması**

KAH çeşitli karmaşık yöntemlerle değerlendirilebilir. En yaygın yöntem, ardışık kalp atışlarının dizileri arasındaki zamansal değişimi göz önünde bulunduran standart EKG'dir. QRS kompleksindeki ardışık R tepe noktalarının (R-R) uzunlukları matematiksel olarak tanımlanabilir. R-R ardışık R tepe noktaları arasında tutarlı değildir. Fiziksel aktivitenin başlangıcında, R-R aralıkları daha kısa ve daha düzgün hale gelir ve bu da artan sempatik aktivite ve parasempatik geri çekilmeden kaynaklanır. R-R, antrenman sırasında ve sonrasında fizyolojik stres ve yorgunluk seviyeleriyle ilgili eyleme geçirilebilir bilgiler sağlayabilir (Schmitt ve ark 2015). Bu nedenle, KAH hesaplamasında yer alan matematik türünün karmaşıklığına rağmen, R-R aralıklarını temsil eden çeşitli algoritmik modeller yaygın olarak mevcuttur ve otonomik aktivasyon, sempatik-vagal dengeyi tahmin etmek için KAH'yi analiz ederek değerlendirilebilir. Ek olarak, sinüs düğümü depolarizasyonlarından kaynaklanan QRS kompleksi arasındaki süre normal-normal (N-N) aralığı olarak adlandırılır. KAH, N-N aralıklarının değişkenliğinin ölçümüdür (Reed ve ark 2005).

Ayrıca, frekans alanı analizi, OSS'nin farklı dallarının aktivitesine karşılık gelen değişkenlik değişikliklerinin yüksek ve düşük frekans oranlarını tanımlar. Bu frekans aralığı farklarını KAH analizinde uygulayarak, parasempatik ve sempatik sistemlerin bireysel katkısı belirlenmektedir. 0,04 ile 0,15 Hz arasındaki R-R aralığı değişikliklerinin modülasyonunu ifade eden düşük frekans parametreleri, sempatik ve parasempatik aktiviteye birlikte karşılık gelir. R-R aralığı değişikliklerinin yüksek frekanslı modülasyonu (0,15-0,4 Hz), öncelikle parasempatik (vagal) sinir tarafından kalbin innervasyonları yoluyla düzenlenir (Aubert ve ark 2003). KAH analizi için bir diğer önemli unsur, toplam değişkenliği ve bitişik N-N aralıkları arasındaki standart sapmaların, karekök ortalamasını yeniden üreten tüm N-N aralıklarının standart sapmasını yansıtan zaman alanı parametreleridir; bu da parasempatik aktiviteyi yansıtır (Rajendra ve ark 2006).

Tablo 1.1. Kalp Atım Hızı Değişkenliği Parametreleri ve Tanımları (Yılmaz ve ark 2018)

| <b>Kalp Atım Hızı Değişkenliği Parametreleri ve Tanımları</b> |               |  |
|---|---------------|--|
| <b>Parametre</b>  | <b>Birim</b>  | <b>Tanım</b>   |
| RR  | ms            | Ortalama RR aralığı  |
| HR  | bpm           | Kalp atımı   |
| SDNN  | ms            | Normal RR aralıklarının standart sapmalarının ortalaması   |
| RMSSD   | ms            | Sinüs iletimli ardışık NN aralıklarının toplam kare farklarının karekök değeridir. Parasempatik aktivitenin önemli bir göstergesi olarak kabul edilir. |
| NN50  | vuruş (beats) | Tüm kayıt boyunca farkın 50 ms'den fazla olduğu NN aralıklarının sayısıdır   |

|         |                 |   |
|---------|-----------------|---|
| PNN50   | %               | NN50 sayısının toplam NN sayısına bölünmesiyle elde edilir. 24 saatlik EKG kaydında ardışık normal RR aralıkları arasındaki 50 ms'den büyük farkların yüzdesini gösterir. Başlıca parasempatik aktiviteyi yansıtır. |
| HRV     | S               | Kalp hızı değişkenliği  |
| LF/HF   | ms <sup>2</sup> | Sempatik ve parasempatik sistemler arasındaki dengeyi gösterir.   |
| SD1     | ms              | Atımdan atıma değişkenliğin anlık kaydının bir endeksi olup parasempatik aktiviteyi temsil eder   |
| SD2     | ms              | SD2 endeksi uzun vadeli HRV'yi temsil eder ve genel değişkenliği yansıtır   |
| SD1/SD2 | %               | RR aralıkları arasındaki kısa ve uzun vadeli varyasyon arasındaki oranı gösterir ve Kardiyak Sempatik İndeks olarak adlandırılır  |

## 2. GEREÇ VE YÖNTEM

Kalp atım hızı değişkenliğinin tenis müsabakası süresince değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmaya Türkiye Tenis Federasyonu faaliyet programında yer alan turnuva takvimindeki 14-16 yaş kategorisindeki sporculardan oluşturulmuş ve toplam 30 katılımcı dahil edilmiştir. Katılımcıların yaşları ortalaması  $15,73\pm 2,51$  yıl, boyları ortalaması  $165,80\pm 6,33$  cm ve vücut ağırlıkları ortalaması  $57,20\pm 8,39$  kg olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar etik kurulunun 27.12.2022 tarih ve E-40990478-050.99-432110 sayılı kararına uygun olarak yapılmıştır. Ayrıca tüm katılımcılar, etik kurul tarafından onaylanan prosedürler hakkında ve Helsinki Bildirgesi'ne uygun olarak bilgilendirildikten sonra bu çalışmaya katılmak için sporcu velilerinden yazılı bilgilendirilmiş onamları alındı.

### 2.1. Deney Protokolü

Çalışmamız yıllık antrenman periyotlamasının yarışma döneminde sentetik tenis kortlarında gerçekteştirilmiştir. Kalp atım değişkenliği müsabaka öncesinde, esnasında ve sonrasında V800 GPS özellikli polar saat ve H10 göğüs bandı ile kaydedildi. Kalp atım değişkenliğine ilişkin zaman eksenli, frekans eksenli, doğrusal olmayan sonuçlar ve farklı indeks parametreleri, Kubios HRV Scientific analiz programı ile analiz edildi.

Çalışmada kalp atım değişkenliğine ait ölçümler Türkiye Tenis Federasyonu faaliyet programında yer alan turnuva takvimindeki maç programına göre farklı şehirlerdeki (Antalya, Mersin ve Konya) tenis kortlarında gerçekteştirilmiştir. Kalp atım hızları Polar V800 GPS spor saati model cihazıyla kaydedilmiştir. Ayrıca deneklere cihaz ile uyumlu polar H10 göğüs bandı takılmıştır. KAH' nın analizinde ortalama RR, HR, SDNN, RMSSD, NN50, PNN50, HRV, LF/HF, SD1, SD2, SD1/SD2, PSS indeksi, SSS indeksi ve stres indeks parametreleri kullanılmıştır. Deneklerin, müsabakadan en az 5-6 saat önce çay, kahve ve alkollü içeceklerden kaçınmaları istenmiştir. Ölçümler tenis müsabakası öncesinde-sonrasında yatay pozisyonda 5 dakika süreyle, ve tenis müsabakası esnasında olmak üzere üç farklı konumda alınmıştır. Sporcu ayakta iken koluna polar saat takılıp, göğüs bandı

bağlandıktan ve saat ile bağlantı kurulduktan sonra, sporcuların tenis kortunda yatay pozisyonda RR aralıklı testi ile ölçümleri alınmıştır. Daha sonra sporcuların tenis müsabakası esnasında aynı parametreler polar saat tarafından kaydedilmiştir. Sporcular, müsabaka esnasında maksimal performans gösterme konusunda sürekli olarak uyarılmıştır. Müsabaka sonrası ölçümleri, müsabaka sonrasında dinlenme olmadan 5 dakika süre ile ölçülmüş olup, sporcuların tenis kortunda yatay pozisyonda ölçümleri alınmıştır. Ölçümler sırasında aynı hava koşulları ve aynı kort zemini olmasına özen gösterilmiştir.

## **2.2.Verilerin Toplanması**

Kalp atım değişkenliği spektral analizi için Polar Vantage V800 polar saat ve H10 göğüs bandı kullanılmıştır. Polar saat ile doku arasındaki elektriksel iletkenliği sağlamak amacıyla hyaluronik asit çözeltisi kullanılmıştır. Kalp atım değişkenliği spektral analizi, denekler istirahat halinde, müsabaka süresince ve müsabaka sonrasında olmak üzere üç farklı zaman diliminde değerlendirilmiştir.

## **2.3.KAH Spektral Analizi**

Kalp atım değişkenliğine ilişkin zaman ve frekans eksenli parametreler Kubios KAH standart analiz programı ile analiz edilmiştir. KAH spektral analizinde ortalama RR, HR, SDNN, RMSSD, NN50, PNN50, HRV, LF/HF, SD1, SD2, SD1/SD2, PSS indeksi, SSS indeksi ve stres indeks parametreleri kullanılmıştır.

## **2.4.Verilerin Analizi**

Verilerin düzenlenmesinde ve değerlendirilmesinde SPSS 27.0 IBM istatistik paket programı kullanılmıştır. Veriler ortalama ve standart sapma olarak özetlenmiştir. Verilerin normallik sınavası One-Sample Kolmogorov-Smirnov testi ile yapılmış olup verilerin normal dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Ölçümler arasındaki farklılık tekrarlı ölçümlerde varyans analizi ile analiz edilmiştir. Farklılığın hangi ölçümden kaynaklandığını tespit etmek için ise Bonferroni çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Bu çalışmada hata düzeyi 0,05 olarak değerlendirilmiştir.

### 3. BULGULAR

Tablo 3.1. Araştırmada yer alan katılımcıların fiziksel özelliklerine ilişkin ortalama ve standart sapmaları

| Değişkenler         | Ortalama | Standart sapma |
|---------------------|----------|----------------|
| Yaş (yıl)           | 15,73    | 2,51           |
| Boy (cm)            | 165,80   | 6,33           |
| Vücut Ağırlığı (kg) | 57,20    | 8,39           |

Tablo 3.1 incelendiğinde araştırmaya katılan deneklere ilişkin fiziksel özellikler: yaşları ortalaması  $15,73 \pm 2,51$  yıl, boyları ortalaması  $165,80 \pm 6,33$  cm, vücut ağırlıkları ortalaması  $57,20 \pm 8,39$  kg olarak bulunmuştur.

Tablo 3.2. Araştırmada yer alan katılımcıların zamana bağlı değişkenlerine ilişkin ortalama ve standart sapmaları

| Değişkenler | MÖ           | ME           | MS           |
|-------------|--------------|--------------|--------------|
|             | Ort.±SS      | Ort.±SS      | Ort.±SS      |
| RR (ms)     | 474,23±73,64 | 405,27±37,19 | 444,53±61,38 |
| HR (bpm)    | 129,20±18,64 | 149,23±13,57 | 131,23±36,13 |
| SDNN (ms)   | 21,16±12,11  | 16,69±32,33  | 13,29±8,03   |
| RMSSD (ms)  | 13,75±9,78   | 5,46±1,61    | 7,64±4,65    |
| NN50        | 77,00±225,14 | 5,90±9,08    | 4,96±14,44   |
| PNN50 (%)   | 2,17±3,43    | 0,06±0,09    | 0,39±1,00    |

---

|         |           |           |           |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| HRV (s) | 3,75±1,69 | 2,78±0,70 | 3,14±1,54 |
|---------|-----------|-----------|-----------|

---

Tablo 3.2 incelendiğinde araştırmada yer alan katılımcıların MÖ zamana bağlı değişkenlerine ilişkin: RR ortalaması 474,23±73,64 ms, HR ortalaması 129,20±18,64 bpm, SDNN ortalaması 21,16±12,11 ms, RMSSD 13,75±9,78 ms, NN50 ortalaması 77,00±225,14, PNN50 ortalaması 2,17±3,43 %, HRV ortalaması 3,75±1,69 s olarak bulunmuştur.

Araştırmada yer alan katılımcıların ME zamana bağlı değişkenlerine ilişkin: RR ortalaması 405,27±37,19 ms, HR ortalaması 149,23±13,57 bpm, SDNN ortalaması 16,69±32,33 ms, RMSSD 5,46±1,61 ms, NN50 ortalaması 5,90±9,08, PNN50 ortalaması 0,06±0,09 %, HRV ortalaması 2,78±0,70 s olarak bulunmuştur.

Araştırmada yer alan katılımcıların MS zamana bağlı değişkenlerine ilişkin: RR ortalaması 444,53±61,38 ms, HR ortalaması 131,23±36,13 bpm, SDNN ortalaması 13,29±8,03 ms, RMSSD 7,64±4,65 ms, NN50 ortalaması 4,96±14,44, PNN50 ortalaması 0,39±1,00 % ve HRV ortalaması 3,14±1,54 s olarak bulunmuştur.

Tablo 3.3. Araştırmada yer alan katılımcıların farklı indeks, doğrusal olmayan sonuç ve frekans eksenli değişkenlerine ilişkin ortalama ve standart sapmaları

| Değişkenler                                   | MÖ          | ME          | MS          |
|---|-------------|-------------|-------------|
|   | Ort.±SS     | Ort.±SS     | Ort.±SS     |
| LF (ms <sup>2</sup> ) / HF (ms <sup>2</sup> ) | 5,46±3,45   | 6,56±2,19   | 7,16±5,20   |
| SD1 (ms)                                      | 9,72±6,91   | 3,81±1,19   | 5,42±3,29   |
| SD2 (ms)                                      | 28,24±15,80 | 14,54±4,83  | 17,97±11,04 |
| SD1 / SD2 (%)                                 | 3,20±0,74   | 3,86±0,83   | 3,42±0,93   |
| PSS İndeksi                                   | -3,08±1,28  | -4,01±0,31  | -3,69±0,57  |
| SSS İndeksi                                   | 7,33±3,67   | 10,35±2,90  | 9,87±3,88   |
| Stres İndeksi                                 | 23,58±11,81 | 30,16±10,68 | 33,07±15,53 |

Tablo 3.3 incelendiğinde araştırmada yer alan katılımcıların MÖ farklı indeks, doğrusal olmayan sonuç ve frekans eksenli değişkenlerine ilişkin: LF/HF ortalaması 5,46±3,45 ms<sup>2</sup>, SD1 ortalaması 9,72±6,91 ms, SD2 ortalaması 28,24±15,80 ms, SD1/SD2 ortalaması 3,20±0,74 %, PSS indeks ortalaması -3,08±1,28, SSS indeks ortalaması 7,33±3,67 ve stres indeks ortalaması 23,58±11,81 olarak bulunmuştur.

Araştırmada yer alan katılımcıların ME farklı indeks, doğrusal olmayan sonuç ve frekans eksenli değişkenlerine ilişkin: LF/HF ortalaması 6,56±2,19 ms<sup>2</sup>, SD1 ortalaması 3,81±1,19 ms, SD2 ortalaması 14,54±4,83 ms, SD1/SD2 ortalaması 3,86±0,83 %, PSS indeks ortalaması -4,01±0,31, SSS indeks ortalaması 10,35±2,90 ve stres indeks ortalaması 30,16±10,68 olarak bulunmuştur.

Araştırmada yer alan katılımcıların MS farklı indeks, doğrusal olmayan sonuç ve frekans eksenli değişkenlerine ilişkin: LF/HF ortalaması 7,16±5,20 ms<sup>2</sup>, SD1 ortalaması 5,42±3,29 ms, SD2 ortalaması 17,97±11,04 ms, SD1/SD2 ortalaması

3,42±0,93 %, PSS indeks ortalaması -3,69±0,57, SSS indeks ortalaması 9,87±3,88 ve stres indeks ortalaması 33,07±15,53 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.4. Araştırmada yer alan katılımcıların zamana bağlı değişkenlerinin çoklu karşılaştırması

| <b>Varyansın Kaynağı</b> |       | <b>Kareler Toplam</b> | <b>SD</b> | <b>Kareler Ortalaması</b> | <b>F</b> | <b>P</b> | <b>Etki Boyutu</b> |
|--------------------------|-------|-----------------------|-----------|---------------------------|----------|----------|--------------------|
| RR (ms)                  | Zaman | 71803,622             | 1,413     | 50807,545                 | 12,810   | 0,001*   | 0,306              |
|                          | Hata  | 162555,044            | 40,984    | 3966,289                  |          |          |                    |
| HR (bpm)                 | Zaman | 7294,689              | 1,191     | 6126,770                  | 6,784    | 0,010*   | 0,190              |
|                          | Hata  | 31183,978             | 34,528    | 903,147                   |          |          |                    |
| SDNN (ms)                | Zaman | 934,027               | 1,181     | 791,191                   | 1,067    | 0,321    | 0,035              |
|                          | Hata  | 25395,546             | 34,235    | 741,791                   |          |          |                    |
| RMSSD (ms)               | Zaman | 1107,126              | 1,277     | 866,683                   | 16,072   | 0,001*   | 0,357              |
|                          | Hata  | 1997,634              | 37,045    | 53,924                    |          |          |                    |
| NN50                     | Zaman | 102448,822            | 1,006     | 101836,949                | 3,220    | 0,083    | 0,100              |
|                          | Hata  | 922709,178            | 29,174    | 31627,528                 |          |          |                    |
| PNN50 (%)                | Zaman | 76,850                | 1,119     | 68,665                    | 9,517    | 0,003*   | 0,247              |
|                          | Hata  | 234,164               | 32,457    | 7,215                     |          |          |                    |
| HRV (s)                  | Zaman | 14,520                | 1,625     | 8,936                     | 6,025    | 0,008*   | 0,172              |
|                          | Hata  | 69,882                | 47,119    | 1,483                     |          |          |                    |

Tablo 3.4 incelendiğinde, katılımcıların MÖ, ME ve MS RR, HR, RMSSD, PNN50 ve HRV değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Ayrıca katılımcıların MÖ, ME ve MS SDNN ve NN50 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ).

Tablo 3.5. Araştırmada yer alan katılımcıların farklı indeks, doğrusal olmayan sonuç ve frekans eksenli değişkenlerine ilişkin çoklu karşılaştırması

| Varyansın Kaynağı                                   |       | Kareler Toplam | SD     | Kareler Ortalaması | F      | P      | Etki Boyutu |
|---|-------|----------------|--------|--------------------|--------|--------|-------------|
| Stres İndeksi                                       | Zaman | 1419,900       | 1,288  | 1102,604           | 8,144  | 0,004* | 0,219       |
|   | Hata  | 5056,220       | 37,345 | 135,391            |        |        |             |
| LF (ms <sup>2</sup> ) / HF (ms <sup>2</sup> ) oranı | Zaman | 44,198         | 1,566  | 28,219             | 1,726  | 0,194  | 0,056       |
|   | Hata  | 742,634        | 45,422 | 16,350             |        |        |             |
| SD1   | Zaman | 560,783        | 1,267  | 442,563            | 16,457 | 0,001* | 0,362       |
|   | Hata  | 988,184        | 36,747 | 26,892             |        |        |             |
| SD2   | Zaman | 3051,333       | 1,457  | 2094,897           | 17,300 | 0,001* | 0,374       |
|   | Hata  | 5114,907       | 42,240 | 121,091            |        |        |             |
| SD1 / SD2 (%)                                       | Zaman | 6,856          | 2      | 3,428              | 8,716  | 0,001* | 0,231       |
|   | Hata  | 22,810         | 58     | 0,393              |        |        |             |
| PSS İndeksi   | Zaman | 13,480         | 1,300  | 10,369             | 13,005 | 0,001* | 0,310       |
|   | Hata  | 30,060         | 37,702 | 0,797              |        |        |             |
| SSS İndeksi   | Zaman | 157,353        | 1,434  | 109,763            | 13,448 | 0,001* | 0,317       |
|   | Hata  | 339,317        | 41,574 | 8,162              |        |        |             |

Tablo 3.5 incelendiğinde, katılımcıların MÖ, ME ve MS stres indeksi, SD1, SD2, SD1/SD2, PSS indeksi ve SSS indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0,05$ ). Ayrıca katılımcıların MÖ, ME ve MS LF/HF değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p > 0,05$ ).

Tablo 3.6. Araştırmada yer alan katılımcıların RR değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| <b>Zaman</b> |    | <b>Ortalamalar Farkı±SS</b> | <b>P</b> |
|--------------|----|-----------------------------|----------|
| MÖ           | ME | 68,967±11,69                | 0,000*   |
|              | MS | 29,700±17,51                | 0,302    |
| ME           | MÖ | -68,967±11,69               | 0,000*   |
|              | MS | -39,267±10,82               | 0,003*   |
| MS           | MÖ | -29,700±17,51               | 0,302    |
|              | ME | 39,267±10,82                | 0,003*   |

Tablo 3.6 incelendiğinde katılımcıların MÖ RR değerleri ile ME RR değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p < 0,05$ ), MÖ RR değerleri ile MS RR değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p > 0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME RR değerleri ile hem MÖ hemde MS RR değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0,05$ ). Katılımcıların MS RR değerleri ile ME RR değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p < 0,05$ ), MS RR değerleri ile MÖ RR değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p > 0,05$ ).

Tablo 3.7. Araştırmada yer alan katılımcıların HR değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| <b>Zaman</b> |    | <b>Ortalamalar Farkı±SS</b> | <b>P</b> |
|--------------|----|-----------------------------|----------|
| MÖ           | ME | -20,033±2,99                | 0,001*   |
|              | MS | -2,033±7,74                 | 1,000    |
| ME           | MÖ | 20,033±2,99                 | 0,001*   |
|              | MS | 18,000±6,21                 | 0,021*   |
| MS           | MÖ | 2,033±7,74                  | 1,000    |
|              | ME | -18,000±6,21                | 0,021*   |

Tablo 3.7 incelendiğinde katılımcıların MÖ HR değerleri ile ME HR değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), MÖ HR değerleri ile MS HR değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME HR değerleri ile hem MÖ hemde MS HR değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Katılımcıların MS HR değerleri ile ME HR değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), MS HR değerleri ile MÖ HR değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ).

Tablo 3.8. Araştırmada yer alan katılımcıların RMSSD değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| Zaman |    | Ortalamalar Farkı±SS | P      |
|-------|----|----------------------|--------|
| MÖ    | ME | 8,287±1,71           | 0,001* |
|       | MS | 6,107±1,83           | 0,007* |
| ME    | MÖ | -8,287±1,71          | 0,001* |
|       | MS | -2,180±0,76          | 0,024* |
| MS    | MÖ | -6,107±1,83          | 0,007* |
|       | ME | 2,180±0,76           | 0,024* |

Tablo 3.8 incelendiğinde katılımcıların MÖ RMSSD değerleri ile hem ME hemde MS RMSSD değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME RMSSD değerleri ile hem MÖ hemde MS RMSSD değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Katılımcıların MS RMSSD değerleri ile hem MÖ hemde ME RMSSD değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ).

Tablo 3.9. Araştırmada yer alan katılımcıların PNN50 değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| <b>Zaman</b> |    | <b>Ortalamalar Farkı±SS</b> | <b>P</b> |
|--------------|----|-----------------------------|----------|
| MÖ           | ME | 2,102±0,62                  | 0,006*   |
|              | MS | 1,778±0,63                  | 0,024*   |
| ME           | MÖ | -2,102±0,62                 | 0,006*   |
|              | MS | -0,325±0,17                 | 0,218    |
| MS           | MÖ | -1,778±0,63                 | 0,024*   |
|              | ME | 0,325±0,17                  | 0,218    |

Tablo 3.9 incelendiğinde katılımcıların MÖ PNN50 değerleri ile hem ME hemde MS PNN50 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME PNN50 değerleri ile MÖ PNN50 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), ME PNN50 değerleri ile MS PNN50 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Katılımcıların MS PNN50 değerleri ile MÖ PNN50 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), MS PNN50 değerleri ile ME PNN50 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ).

Tablo 3.10. Araştırmada yer alan katılımcıların HRV değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| <b>Zaman</b> |    | <b>Ortalamalar Farkı±SS</b> | <b>P</b> |
|--------------|----|-----------------------------|----------|
| MÖ           | ME | 0,974±0,26                  | 0,002*   |
|              | MS | 0,607±0,34                  | 0,264    |
| ME           | MÖ | -0,974±0,26                 | 0,002*   |
|              | MS | -0,367±0,23                 | 0,389    |
| MS           | MÖ | -0,607±0,34                 | 0,264    |
|              | ME | 0,367±0,23                  | 0,389    |

Tablo 3.10 incelendiğinde katılımcıların MÖ HRV değerleri ile ME HRV değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), MÖ HRV değerleri ile MS PNN50 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME HRV değerleri ile MÖ HRV değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), ME HRV değerleri ile MS HRV değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Katılımcıların MS HRV değerleri ile hem MÖ HRV hemde MS HRV değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ).

Tablo 3.11. Araştırmada yer alan katılımcıların stres indeks değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| Zaman |    | Ortalamalar Farkı $\pm$ SS | P      |
|-------|----|----------------------------|--------|
| MÖ    | ME | -6,580 $\pm$ 1,25          | 0,001* |
|       | MS | -9,497 $\pm$ 2,93          | 0,009* |
| ME    | MÖ | 6,580 $\pm$ 1,25           | 0,001* |
|       | MS | -2,917 $\pm$ 2,69          | 0,862  |
| MS    | MÖ | 9,497 $\pm$ 2,93           | 0,009* |
|       | ME | 2,917 $\pm$ 2,69           | 0,862  |

Tablo 3.11 incelendiğinde katılımcıların MÖ stres indeks değerleri ile hem ME hemde MS stres indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME stres indeks değerleri ile MÖ stres indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), ME stres indeks değerleri ile MS stres indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Katılımcıların MS stres indeks değerleri ile MÖ stres indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), MS stres indeks değerleri ile ME stres indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ).

Tablo 3.12. Araştırmada yer alan katılımcıların SD1 değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| <b>Zaman</b> |    | <b>Ortalamalar Farkı±SS</b> | <b>P</b> |
|--------------|----|-----------------------------|----------|
| MÖ           | ME | 5,913±1,20                  | 0,001*   |
|              | MS | 4,303±1,29                  | 0,007*   |
| ME           | MÖ | -5,913±1,20                 | 0,001*   |
|              | MS | -1,610±0,53                 | 0,016*   |
| MS           | MÖ | -4,303±1,29                 | 0,007*   |
|              | ME | 1,610±0,53                  | 0,016*   |

Tablo 3.12 incelendiğinde katılımcıların MÖ SD1 değerleri ile hem ME hemde MS SD1 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME SD1 değerleri ile hem MÖ hemde MS SD1 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Katılımcıların MS SD1 değerleri ile hem MÖ hemde ME SD1 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ).

Tablo 3.13. Araştırmada yer alan katılımcıların SD2 değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| <b>Zaman</b> |    | <b>Ortalamalar Farkı±SS</b> | <b>P</b> |
|--------------|----|-----------------------------|----------|
| MÖ           | ME | 13,703±2,54                 | 0,001*   |
|              | MS | 10,277±2,94                 | 0,005*   |
| ME           | MÖ | -13,703±2,54                | 0,001*   |
|              | MS | -3,427±1,58                 | 0,117    |
| MS           | MÖ | -10,277±2,94                | 0,005*   |
|              | ME | 3,427±1,58                  | 0,117    |

Tablo 3.13 incelendiğinde katılımcıların MÖ SD2 değerleri ile hem ME hemde MS SD2 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME SD2 değerleri ile MÖ SD2 değerleri arasında anlamlı bir farklılık

olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), ME SD2 değerleri ile MS SD2 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Katılımcıların MS SD2 değerleri ile MÖ SD2 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), MS SD2 değerleri ile ME SD2 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ).

Tablo 3.14. Araştırmada yer alan katılımcıların SD1 / SD2 değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| <b>Zaman</b> |    | <b>Ortalamalar Farkı±SS</b> | <b>P</b> |
|--------------|----|-----------------------------|----------|
| MÖ           | ME | -0,664±0,18                 | 0,003*   |
|              | MS | -0,220±0,16                 | 0,579    |
| ME           | MÖ | 0,664±0,18                  | 0,003*   |
|              | MS | 0,444±0,13                  | 0,010*   |
| MS           | MÖ | 0,220±0,16                  | 0,579    |
|              | ME | -0,444±0,13                 | 0,010*   |

Tablo 3.14 incelendiğinde katılımcıların MÖ SD1 / SD2 değerleri ile ME SD1 / SD2 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), MÖ SD1 / SD2 değerleri ile MS SD1 / SD2 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME SD1 / SD2 değerleri ile hem MÖ hemde MS SD1 / SD2 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Katılımcıların MS SD1 / SD2 değerleri ile ME SD1 / SD2 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), MS SD1 / SD2 değerleri ile MÖ SD1 / SD2 değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ).

Tablo 3.15. Araştırmada yer alan katılımcıların PSS indeks değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| <b>Zaman</b> |    | <b>Ortalamalar Farkı±SS</b> | <b>P</b> |
|--------------|----|-----------------------------|----------|
| MÖ           | ME | 0,934±0,22                  | 0,001*   |
|              | MS | 0,606±0,21                  | 0,026*   |
| ME           | MÖ | -0,934±0,22                 | 0,001*   |
|              | MS | -0,328±0,09                 | 0,006*   |
| MS           | MÖ | -0,606±0,21                 | 0,026*   |
|              | ME | 0,328±0,09                  | 0,006*   |

Tablo 3.15 incelendiğinde katılımcıların MÖ PSS indeks değerleri ile hem ME hemde MS PSS indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME PSS indeks değerleri ile hem MÖ hemde MS PSS indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Katılımcıların MS PSS indeks değerleri ile hem MÖ hemde ME PSS indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ).

Tablo 3.16. Araştırmada yer alan katılımcıların SSS indeks değerlerinin zaman bakımından karşılaştırılması

| <b>Zaman</b> |    | <b>Ortalamalar Farkı±SS</b> | <b>P</b> |
|--------------|----|-----------------------------|----------|
| MÖ           | ME | -3,014±0,43                 | 0,001*   |
|              | MS | -2,533±0,78                 | 0,009*   |
| ME           | MÖ | 3,014±0,43                  | 0,001*   |
|              | MS | 0,481±0,60                  | 1,000    |
| MS           | MÖ | 2,533±0,78                  | 0,009*   |
|              | ME | -0,481±0,60                 | 1,000    |

Tablo 3.16 incelendiğinde katılımcıların MÖ SSS indeks değerleri ile hem ME hemde MS SSS indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Ayrıca katılımcıların ME SSS indeks değerleri ile MÖ SSS indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), ME SSS indeks değerleri ile MS SSS indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Katılımcıların MS SSS indeks değerleri ile MÖ SSS indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilirken ( $p<0,05$ ), MS SSS indeks değerleri ile ME SSS indeks değerleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ).



#### 4. TARTIŞMA

Tenişçilerde kalp atım değışkenliğinin incelenmesi amacıyla yapılan bu araştırmada, zamana bağlı değışkenlerin çoklu karşılaştırmasında MÖ, ME ve MS RR, HR, RMSSD, PNN50 ve HRV değeri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Ayrıca katılımcıların MÖ, ME ve MS SDNN ve NN50 değeri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Yapmış olduğumuz araştırmada farklı indeks, doğrusal olmayan sonuç ve frekans eksenli değışkenlere ilişkin çoklu karşılaştırmada MÖ, ME ve MS stres indeksi, SD1, SD2, SD1/SD2, PNS indeksi ve SNS indeks değeri arasında anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ). Ayrıca katılımcıların MÖ, ME ve MS LF/HF değeri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ).

Literatür incelendiğinde tenişçilerin müsabaka esnasındaki kalp atım hızlarının 140-180 atım/dk aralığında olduğu görölmüştür. Ayrıca tenis müsabaka şiddetinin maksimum kalp atım hızının %50-60'ında, laktik asit seviyesi 1.6-3.8 mmol/l ve algılanan zorluk derecesi 10-17 olarak belirlenirken bu cevapların oyuncuların seviyesi ve oyun durumuna (servis veya karşılama) göre değışiklik gösterdiği görölmüştür (Konig ve ark 2001, Kovacs 2007, Fernandez ve ark 2008).

Yapılan bir çalışmada, müsabaka şartlarında gerçekteşirilen dört farklı tenis maçında sporcuların bazı fizyolojik parametreleri incelenmiştir. Kalp atım sayısı (160-182 atım/dk) algılanan zorluk derecesi (10 derecelik ölçek) 3.1-7.6, kan laktat değeri 4.4-10.6 mmol/l) ve hareket profilleri (kat edilen mesafe 34-113.6 m) belirlenmiştir (Reid ve ark 2008). Bu değerilerin oynanılan seviye, cinsiyet ve zemin koşullarına göre değışiklik gösterdiği ifade edilmektedir. 140-160 bpm'lik ortalama kalp atış hızlarının oyun boyunca nispeten sabit kaldığı bildirilmiştir, ancak daha savunmacı oyun stilleri ve daha uzun veya daha yüksek yoğunluklu rallilerle 180 bpm'nin ötesinde artış gösterdiği belirtilmiştir (Smekal ve ark 2001).

Araştırmalar, tenis sporunun, aralıklı yüksek yoğunluklu eforlar ile düşük yoğunluklu aktivitelerin ve aktif ve pasif iyileşmelerin karıştırıldığı bir spor branşı olmasından dolayı önemli psikolojik stres ve fiziksel yüke neden olduğunu göstermiştir (Therminarias ve ark 1991, Ferrauti ve ark 2001). Buna bağlı olarak da bazal değeri ve pM2 arasında otonomik modölyasyonda (HRV) önemli değışikliklerin meydana geldiği vurgulanmıştır. Literatür incelendiğinde yapılan araştırmalar, tenis,

futbol, bisiklet ve yüzme gibi farklı branşlarda, müsabaka öncesi HRV seviyesinin stres ve kaygı durumuyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir (Ayuso-Moreno ve ark 2020, Fernandez-Fernandez ve ark 2015, Cervantes Blásquez ve ark 2009, Fortes ve ark 2017). Artan kalp hızı değişkenliğinin, parasempatik sinir sisteminin artan aktivitesinin nöral tepkisiyle ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Malik ve ark 1996). Ayrıca HRV değerindeki meydana gelen değişimlerin fiziksel antrenmanlardan etkilendiğini belirlenmiştir (Melo ve ark 2005).

Tenis sporcularında antrenman öncesi ve müsabaka öncesi kalp atım hızı değişkenliği ve kaygı düzeyinin incelendiği bir çalışmada HRV ile rekabet kaygısı arasında bir ilişki olmadığı, rekabet kaygısının müsabaka öncesinde, HRV'nin ise antrenman öncesinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. LF/HF değerlerinde önemli ölçüde olmasa da azalma meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca genç kadın tenisçilerde yarışmadan önce kalp atış hızında artışla birlikte kardiyak otonomik kontrolde bir bozulma olduğu görülürken erkeklerde bu etki görülmemiştir (García-González ve ark 2022). Raket sporlarında yapılan önceki çalışmalar, antrenman öncesi HR davranışını müsabaka öncesi HR davranışıyla kıyaslamış ve müsabaka öncesinde HR'de önemli artışlar olduğunu ortaya koymuştur (Bisschoff ve ark 2016, Picabea ve ark 2021). Fuentes-García ve ark (2022) yapmış olduğu araştırmada genç kız ve erkek tenis oyuncularının maç kaynaklı baskı veya stres nedeniyle HRV'lerinde önemli bir azalma yaşadığını bulmuştur. Ayrıca profesyonel tenis oyuncularının kalp atış hızında artış veya hatta beyin dalgalarında değişiklikler gibi psikofizyolojik değişiklikler sergilediği görülmüştür (Pineda-Hernandez 2022).

Villafaina ve ark (2022) yapmış olduğu araştırmada HRV değişkenlerinin ortalamalarının anlamlılık düzeyinde olmasa da müsabakadan etkilendiğini tespit etmiştir. Anlamlı düzeyde etkinin olmamasının sporcuların yüksek sayıda müsabakaya çıkmış olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Yapılan araştırmalarda yine sporcuların rekabet deneyim seviyesine göre müsabaka öncesinde HRV değişkenlerinde farklılık olduğu belirtilmiştir. Yani rekabet deneyim seviyesi ne kadar yüksek ise sporcunun kalp atım değerleri de buna bağlı olarak düşük tespit edilmiştir. Bu durumun sporcuların kaygı ve stres yönetimlerini de olumlu etkilediği ifade edilmiştir (Hagan ve ark 2017, Mellalieu 2004). Yapılan bir çalışmada tenis sporunun bu psikolojik ve fiziksel özelliklerinden dolayı HFnu ve SampEn'de önemli bir azalma ve LFnu ve LF/HF oranında önemli bir artış olduğu belirlenmiştir (Villafaina ve ark

2022). Ayrıca literatür incelendiğinde HF'nin vagal tonu yansıttığı, LF ve LF/HF sempatik ve vagal aktivitenin bir karışımı olduğu ifade edilmiştir (Laborde ve ark 2017). SampEn değişkeninin ise, sinyalin karmaşıklığını ölçen doğrusal olmayan bir endeks olduğu vurgulanmıştır (Pincus 1991, Richman ve Moorman 2000). Yapılan bir araştırma, SampEn'in bilişsel kaygı ve stres ile ilişkili olduğunu (Mateo ve ark 2012) veya stres ve kaygı durumundan etkilendiğini tespit etmiştir (Dimitriev ve ark 2016). Başka bir araştırma da ise, iki ayrı müsabak öncesinde sporcuların HRV değerleri incelenmiştir. Sporcuların HRV düzeylerinin ikinci maça kıyasla ilk maça daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ikinci maça bazal seviyeye kıyasla daha yüksek LF değerleri ve daha düşük HF ve SampEn değerleri olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun yorgunluk nedeniyle daha yüksek sempatik modülasyonla ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Ek olarak SampEn ile maç öncesi özgüven arasında önemli bir korelasyon ve SDNN ile bilişsel kaygı arasında önemli korelasyonlar bulunmuştur (Villafaina ve ark 2022).

Nista-Piccolo ve ark (2019) yapmış oldukları araştırmada hala tenis oynayan eski tenis sporcuları grubunda bradikardinin, hem mutlak değerlerde hem de normalleştirilmiş değerlerde gözlenen, artan vagal modülasyon (HF bandı) ve diğer gruplara kıyasla normalleştirilmiş değerlerde gözlenen azalan sempatik modülasyon (LF bandı) ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, egzersiz yapan gruplarda (TR ve FT) rekreatif gruba kıyasla kardiyak sempatovagal dengede bir azalma gözlemlendiğine dikkat çekmemişlerdir; düzenli fiziksel aktivite yapan kişilerin düzenli egzersiz yapmayan kişilere kıyasla daha az sempatik modülasyona sahip olduğunu vurgulamışlardır. Bu durumun, eski tenis sporcuları grubunda, rekreasyonel tenis grubuna kıyasla daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir.

HRV azalmasının daha yüksek mortalite ile ilişkili olduğu ifade edilirken, eski tenis oyuncularını grubunun incelenen diğer gruplara kıyasla daha düşük morbidite ve mortalite gösterdiği tespit edilmiştir (Houston ve ark 2002). HRV'nin farklı parametreleri açısından kaygının, LF ve LF/HF'deki artışla ve tersine HF'deki azalmayla ilişkili olduğu belirlenmiştir (Blásquez ve ark 2009). Rekabetçi performansın HRV ile ilişkili olması nedeniyle, HRV'deki bir bozulmanın yüksek seviyede geri dönmek ve yarışmak için daha uzun bir dinlenme süresi gerektirebileceği vurgulanmıştır. Rekabet kaygısının müsabaka sonrasında HRV değerlerinde

bozulmaya sebep olmasına rağmen performansı etkilemediği görülmüştür (Fortes ve ark 2017).

Yapılan başka bir araştırmada ise fizyolojik değişikliklerin psikolojik durumlar üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir. Bundan dolayı hem antrenman öncesinde hemde yarışma öncesinde performansı arttırmak için sporcuların HRV değerlerinin takip edilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Souza ve ark 2019). Antrenman ve yarışmadan önce HRV ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu belirlenmiştir. Spora bakılmaksızın, çoğu HRV ve ilgili performans araştırması yürütülmüş ve maç öncesi ve sonrası analizlere odaklanmıştır (Bisschoff ve ark 2016, Ayuso-Moreno ve ark 2020, Picabea ve ark 2021). Bu çalışmaların bazı ortak yönleri, yarışma öncesi ve sonrası ile karşılaştırıldığında HR'de önemli bir artış ve RMSSD'de önemli bir azalma göstermiştir. Yarışmadan önce azaltılmış bir HRV, sporcu üzerinde farklı etkilere sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmalarda sempatik sistemin aktivitesi artarken parasempatik sistem aktivitesinin azaldığı da belirlenmiştir. Bunun nedeninin ise, yarışmanın sporcu tarafından stresli bir durum veya organizmanın uyarı durumuna göre fizyolojik tepkilerinde değişiklikler üreten çözülmesi gereken bir sorun olarak yorumlanmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Yarışmadan önce azaltılmış bir HRV'nin, sporcuda fizyolojik sistemlerini stresli duruma, daha yüksek kalp hızı, daha büyük kas kasılma kapasitesi veya maçın gelişimi sırasında önemli olabilecek fiziksel taleplere anında tepki verme gibi çeşitli şekillerde yanıt vermeye hazırlayarak faydalar sağladığı görülmüştür. Yarışmadan önce düşük HRV değerlerinin olmasının, yarışma sırasında sporcunun daha dürtüsel tepki vermesine ve daha az stratejik yaklaşım sergilemesine neden olmaktadır; ancak, bu gerçeği analiz etmek, HRV ve kaygıya ek olarak sporcunun kişiliğini oyun tarzıyla ilişkilendiren daha fazla araştırmanın gerekliliğini göstermektedir. HRV'nin performans üzerinde zararlı etkileri olabileceği durumunda, son çalışmalar, nörogeri bildirim eğitimi gibi tekniklerin klinik bir ortamda kaygı ve depresyondan muzdarip kişilerde HRV'yi artırmaya yardımcı olabileceğini bulmuştur (Domingos ve ark 2021, White ve ark 2017).

HRV'nin farklı değişkenlerinin incelenmesinde, RMSSD'nin azalan HRV'yi en iyi yansıtan değişkenlerden biri olduğu ayrıca, pNN50, HFIn, SS ve S/PS gibi diğer değişkenlerin de, antrenman öncesine kıyasla yarışmadan önce önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir (Mateo ve ark 2012, Ayuso-Moreno ve ark 2020). Bir diğer önemli değişken olan SDNN, yarışma esnasında önemli ölçüde azalma göstermiştir. Bu

değişimin nedeni, gerçek bir yarışmanın yarattığı ve HR'yi dekompanse eden ve vagal kontrolü yavaşlatan yarışma öncesi kaygı ve stres olduğu vurgulanmaktadır (SDNN) (Mateo ve ark 2012). Yarışma sırasında hem psikolojik hem de fizyolojik taleplerin artması ve bunun da HR'de bir artışa ve HRV'de bir azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Souza ve ark 2019).

HRV, sporcularda aşırı antrenmanı önlemek ve yorgunluğu yönetmek için yararlı bir araç olarak ortaya çıkmıştır (Boullosa ve ark 2013, Mazon ve ark 2015, Mourot ve ark 2004). Spor yorgunluğunu ölçmeye odaklanan önceki çalışmalarda RMSSD'de azalma olduğu bildirilmiştir (Schmitt ve Regnard 2015, Proietti ve ark 2017). Yorgunluğun dışında, önceki bir çalışma HRV'nin sporcuların yarışma öncesi durumu hakkında bilgi sağlaması gerektiğini de göstermiştir. Bu nedenle, yorgunluğu (Jimenez ve ark 2020, Nieto-Jimenez ve ark 2020), yarışma öncesi kaygıyı veya maç kaynaklı baskıyı tespit etmek için RMSSD'nin bir biyobelirteç olarak kullanılması gerektiği ifade edilmektedir. RR-aralığı pnn50 ve SD1 ile ilgili olarak, başlangıç ve maç öncesi değerler arasında önemli farklılıklar gözlemlendiği belirtilmektedir. Önceki çalışmalar bu değişkenler arasında korelasyonlar gösterdiğinden (Navarro-Lomas ve ark 2020, Thayer ve ark 2010), tüm bu farklılıkların baskın olarak parasempatik aktiviteyi gösteren RMSSD'de elde edilenlerle aynı doğrultuda olduğu bildirilmiştir (Thayer ve ark 2010). Bu nedenle, HRV sonuçlarının sağlık veya stres anketleri (Forner-Llacer ve ark 2020) gibi öznel ölçeklerin aksine oyuncu tarafından gönüllü olarak değiştirilemediğinden, RMSSD gibi değişkenlerin fiziksel antrenörler ve koçlar tarafından maç kaynaklı baskıyı değerlendirmek ve genç sporcuların performansını iyileştirmek için kullanılması gerektiği literatürde vurgulanmaktadır (Kim ve ark 2018).

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Müsabaka öncesi sporcuların müsabaka şartlarına ve müsabaka sonrasına göre daha düşük bir stres yaşadıkları, müsabaka süresince bu stresin arttığı görülmektedir. Müsabaka süresince ve müsabaka sonrası sporcuların stres düzeyleri aynı seviyede seyretmektedir. Ancak müsabaka sonrasında da stresin bir miktar arttığı söylenebilir. Bunun müsabaka sonucu ile bağlantılı olduğu düşünülebilir. Müsabakaların sporcuları baskı altına aldığı bunun da fizyolojik olarak sempatik sinir sistemine bağlı sporcuların kan basıncında artışın olmasına bağlı olduğu söylenebilir. Müsabakaların sporcuları 21,9% oranında stres altına soktuğu görülmektedir.

### Öneriler;

- Kalp atım hızı değişkenliğinin elit sporcular açısından incelenmesi
- Kalp atım hızı değişkenliğinin farklı spor branşında mücadele eden sporcular bakımından incelenmesi
- Sporcular açısından kalp atım hızı değişkenliğinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi

## 6. KAYNAKLAR

- Akyüz G, Ma L, 2012. Otonom sinir sistemi anatomisi ve değerlendirilmesi. *Turk J Phys Med Rehab*, 58, 1-5.
- Amano M, Kanda T, Ue H and Moritani T, 2001. Exercise training and autonomic nervous system activity in obese individuals. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1287-1291.
- Aubert AE, Seps B, Beckers F, 2003. Heart rate variability in athletes. *Sports Med* 33: 889-919.
- Ayuso-Moreno R, Fuentes-García JP, Collado-Mateo D, Villafaina S, 2020. Heart rate variability and pre-competitive anxiety according to the demanding level of the match in female soccer athletes. *Physiol. Behav.* 222, 112926.
- Banzer W, Thiel C, Rosenhagen A, Vogt L, 2008. Tennis ranking related to exercise capacity. *British Journal of Sports Medicine*, 42(2), 152–154.
- Baumert M, Brechtel L, Lock J, Hermsdorf M, Wolff R, Baier V, Voss A, 2006. Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 16(5), 412 – 417.
- Bergeron MF, Maresh CM, Kraemer WJ, Abraham A, Conroy B, Gabaree C, 1991. Tennis: A physiological profile during match play. *International Journal of Sports Medicine*, 12(5), 474–479.
- Bernardini M, De Vito G, Falvo ME, 1998. Cardiorespiratory adjustment in middle-level tennis players: are long term cardiovascular adjustments possible. In T. Reilly, M. Hughes, & A. Lees (Eds.), *Science and Racket Sports* I. E & FN Spon.
- Bisschoff CA, Coetzee B, Esco MR, 2016. Relationship between autonomic markers of heart rate and subjective indicators of recovery status in male elite badminton players. *J. Sport. Sci. Med.* 15, 658.
- Blásquez JC, Font GR, Ortís LC, 2009. Heart-rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema*, 21, 531–536.
- Borg GA, 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 14(5):377-81.
- Bosquet L, Papelier Y, Léger L, Legros P, 2003. Night heart rate variability during overtraining in male endurance athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 43: 506-512.
- Boudoulas KD, Paraskevaidis IA, Boudoulas H, Triposkiadis FK, 2014. The left atrium: From the research laboratory to the clinic. *Cardiology* 129: 1-17.
- Boullosa DA, Abreu L, Nakamura FY, Munoz VE, Domínguez E, Leicht AS, 2013. Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 8, 400–409.
- Boullosa DA, Tuimil JL, Leicht AS, Crespo-Salgado JJ, 2009. Parasympathetic modulation and running performance in distance runners. *J Strength Cond Res* 23: 626-631.
- Boyce WT, Ellis BJ, 2005. Biological sensitivity to context: I. An evolutionary– developmental theory of the origins and functions of stress reactivity. *Development and Psychopathology*, 17(2), 271–301.
- Campbell GD, Edwards FR, Hirst GD, O’Shea JE, 1989. Effects of vagal stimulation and applied acetylcholine on pacemaker potentials in the guinea-pig heart. *The Journal of Physiology*, 415(1), 57 – 68.
- Cantile C, Youssef S, 2016. Nervous system. Jubb, Kennedy & Palmer's *Pathology of Domestic Animals*: Volume 1, 250.
- Cervantes Blásquez JC, Rodas Font G, Capdevila Ortís L, 2009. Heart-rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema*, 21, 531–536.
- Chen JL, Yeh DP, Lee JP, Chen CY, Huang CY, Lee SD, Kuo CH, 2011. Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1546 – 1552.
- Christmass MA, Richmond SE, Cable NT, Arthur PG, Hartmann PE, 1998. Exercise intensity and metabolic response in singles tennis. *Journal of Sports Sciences*, 16(8), 739–747.

- Cottin F, Médigue C, Leprêtre PM, Papelier Y, Koralsztein JP, Billat V, 2004. Heart rate variability during exercise performed below and above ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc* 36: 594-600.
- Davey PR, Thorpe RD, Willams C, Williams C, 2003. Simulated tennis matchplay in a controlled environment. *Journal of Sports Sciences*, 21(6), 459-467.
- De Paola M, Scoppa V, 2017. Gender differences in reaction to psychological pressure: Evidence from tennis players. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 26(3), 444-456.
- Dimitriev DA, Saperova EV, Dimitriev AD, 2016. State anxiety and nonlinear dynamics of heart rate variability in students. *PloS one*, 11(1).
- Domingos C, Silva C, Antunes A, Prazeres P, Esteves I, Rosa A, 2021. The influence of an alpha band neurofeedback training in heart rate variability in athletes. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 12579.
- Elliott B, Dawson B, Pyke F, 1985. The Energetics of Singles Tennis. *Journal of Human Movement Studies*, 11, 11-20.
- Esco MR, Mugu EM, Williford HN, McHugh AN, Bloomquist BE, 2011. Cross-validation of the polar fitness test via the polar f11 heart rate monitor in predicting vo 2 max. *Journal of Exercise Physiology Online*, 14(5).
- Fernandez J, Mendez-Villanueva A, Pluim BM, 2006. Intensity of tennis match play. *Br J Sports Med* 40: 387-391.
- Fernandez-Fernandez J, Boullosa DA, Sanz-Rivas D, Abreu L, Filaire E, Mendez-Villanueva A, 2015. Psychophysiological stress responses during training and competition in young female competitive tennis players. *Int. J. Sports Med.* 36, 22-28.
- Fernández-Fernández J, Kinner V, Ferrauti A, 2010. The Physiological Demands of Hitting and Running in Tennis on Different Surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3255-3264.
- Fernández-Fernández J, Mendez-Villanueva A, Fernandez-Garcia B, Terrados N, 2007. Match activity and physiological responses during a junior female singles tennis tournament. *British Journal of Sports Medicine*, 41(11), 711-716.
- Fernández-Fernández J, Mendez-Villanueva A, Pluim BM, 2006. Intensity of tennis match play. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 387-391.
- Fernandez-Fernandez J, Sanz-Rivas D, Fernandez-Garcia B, Mendez-Villanueva A, 2008. Match activity and physiological load during a clay-court tennis tournament in elite female players. *Journal of Sports Sciences*, 26(14), 1589-1595.
- Fernández-Fernández J, Sanz-Rivas D, Fernandez-Garcia B, Mendez-Villanueva A, 2008. Match activity and physiological load during a clay-court tennis tournament in elite female players. *Journal of Sports Sciences*, 26(14), 1589-1595.
- Fernández-Fernández J, Sanz-Rivas D, Mendez-Villanueva A, 2009. A Review of the Activity Profile and Physiological Demands of Tennis Match Play. *Strength and Conditioning Journal*, 31(4), 15-26.
- Fernández-Fernández J, Ulbricht A, Ferrauti A, 2014. Fitness testing of tennis players: How valuable is it? *British Journal of Sports Medicine*, 48(S1), i22-i31.
- Ferrauti A, Bergeron MF, Pluim BM, Weber K, 2001. Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*, 85(1-2), 27-33.
- Ferrauti A, Neumann G, Weber K, Keul J, 2001. Urine catecholamine concentrations and psychophysical stress in elite tennis under practice and tournament conditions. *J. Sports Med. Phys. Fit*, 41, 269.
- Ferrauti A, Weber K, Wright PR, 2003. Endurance: Basic, semi-specific and specific. In: *Strength and Conditioning for Tennis*. Reid M, Quinn A, and Crespo M, eds. London, United Kingdom: ITF Ltd. pp. 93-111.

- Flatt AA, Esco MR, Nakamura FY, 2016. Individual heart rate variability responses to preseason training in high level female soccer players, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31, 531 - 538.
- Forner-Llacer F, Aranda-Malaves R, Malavés RA, Calleja-Gonzalez J, PerezTurpin JA, Gonzalez-Rodenas J, 2020. Minimal stabilization time for ultra-short heart rate variability measurements in professional soccer, *Int. J. Sports Med.* 41, 1032–1038.
- Fortes LS, da Costa BD, Paes PP, do Nascimento Júnior JR, Fiorese L, Ferreira ME, 2017. Influence of competitive anxiety on heart rate variability in swimmers. *J. Sport. Sci. Med.* 16, 498, PMC5721179.
- Fox SI, 1990. *human Physiology*, 3rd Edition, C. Brown Publishers, S. 182- 206, Iowa.
- Fuentes-García JP, Crespo M, Martínez-Gallego R, Villafaina S, 2022. Impact of match-induced pressure on HRV of junior tennis players. *Physiology & Behavior*, 252, 113836.
- Gale-Watts AS, Nevill AM, 2016. From endurance to power athletes: The changing shape of successful male professional tennis players. *European Journal of Sport Science*, 1391(September), 1–7.
- García-González S, López-Plaza D, Abellán-Aynés O, 2022. Influence of competition on anxiety and heart rate variability in young tennis players. In *Healthcare*, 10, 11, p. 2237.
- García-González S, López-Plaza D, Abellán-Aynés O, 2022. Influence of Competition on Anxiety and Heart Rate Variability in Young Tennis Players. *Healthcare*, 10, 2237.
- Giampaolo F, Levey J, 2013. *Championship tennis, champaign. IL: Human Kinetics.*
- Gill D, Prowse V, 2014. Gender differences and dynamics in competition: The role of luck. *Quantitative Economics*, 5, 351–376.
- Gillmeister H, 2008. Historia del tenis. *ITF Coaching and Sport Science Review*; vol. 15, no. 46, p.19-21.
- Girard O, Chevalier R, Leveque F, Micallef JP, Millet GP, Jean-paul M, 2006. Specific incremental field test for aerobic fitness in tennis. *British Journal of Sports Medicine*, 40(9), 791– 796.
- Girard O, Millet GP, 2004. Effects of the ground surface on the physiological and technical responses in young tennis players. In Adrian Lees, J.-F. Kahn, & I. Maynard (Eds.), *Science and Racket Sports* (pp. 43–48).
- Goldstein DS, McEwen B, 2002. Allostasis, homeostats, and the nature of stress. *Stress*, 5(1), 55–58.
- Gomes RV, Coutts AJ, Viveiros L, Aoki MS, 2011. Physiological demands of match-play in elite tennis: A case study. *European Journal of Sport Science*, 11(2), 105–109.
- Green JM, Crews TR, Bosak AM, Peveler WW, 2003. A comparison of respiratory compensation thresholds of anaerobic competitors, aerobic competitors and untrained subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 90(5–6), 608–613.
- Groppel JL, Roetert EP, 1992. *Applied Physiology of Tennis.* *Sports Medicine*, 14(4), 260–268.
- Groppell JL, 1989. *Science of Coaching Tennis*, Leisure press, human kinetics, U.S.A. p208–218.
- Haake S, Chadwick S, Dignall R, Goodwill S, Rose P, 2000. Engineering tennis-Slowing the game down. *Sports Eng 3*: 131-143.
- Hagan JE, Pollmann D, Schack T, 2017. Interaction between gender and skill on competitive state anxiety using the time-to-event paradigm: What roles do intensity, direction, and frequency dimensions play? *Front. Psychol*, 8, 692.
- Hemingway H, Shipley M, Brunner E, Britton A, Malik M, Marmot M, 2005. Does autonomic function link social position to coronary risk? The Whitehall II study. *Circulation*, 111(23), 3071 – 3077.
- Hornery D, Farrow D, Mujika I, Young W, 2007. Fatigue in tennis. Mechanisms of fatigue and effect on performance. *Sports Med* 37: 199-212.
- Houston TK, Meoni LA, Ford DE, Brancati FL, Cooper LA, Levine DM, 2002. Sports ability in young men and the incidence of cardiovascular disease. *Am J Med*, 112(9):689-95.
- <https://www.itftennis.com/en/>
- <https://www.itftennis.com/en/about-us/governance/rules-and-regulations/>

- Jimenez CN, Alvarez JR, Mainer EP, Orellana JN, 2020. La variabilidad de la frecuencia cardiaca en el control del entrenamiento en un corredor de Ironman: estudio de caso. Retos: nuevas tendencias en educacion ´ fisica, deporte y recreacion, 339–43.
- Jiménez L, 2009. Juegos de pala y raqueta en la escuela primaria. Revista pedagógica de educación fisica. no.19, p. 24-29.
- Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T, Rusko H, Nummela A, 2012. Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. Eur J Appl Physiol 112: 829-838.
- Karbek K, 1990. Biyoloji, Ant Yayınları, Ankara.
- Khandoker AH, Jelinek HF, Palaniswami M, 2009. Identifying diabetic patients with cardiac autonomic neuropathy by heart rate complexity analysis. Biomed Eng Online 8: 3.
- Kilit B, 2012. Elit erkek tenisçilerin performans ve fizyolojik profillerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kim HG, Cheon EJ, Bai DS, Lee YH, Koo BH, 2018. Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature, Psychiatry Investig, 15, 235–245.
- Konig D, Huonker M, Schmid A, Halle M, Berg A, Keul J, 2001. Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. Med Sci Sport Exerc 33: 654-658.
- Kovacs MS, 2006. Applied physiology of tennis performance. British Journal of Sports Medicine, 40(5), 381–385.
- Kovacs MS, 2007. Tennis physiology: Training the competitive athlete. Sports Medicine, 37(3), 189–198.
- Kovacs MS, 2007. Tennis physiology: training the competitive athlete, Sports Med, 37:189- 198.
- König D, Huonker M, Schmid A, Halle M, Berg A, Keul J, 2001. Cardiovascular, Metabolic and Hormonal Parameters in Professional Tennis Players. Medicine & Science in Sports & Exercise, 33(4), 654–658.
- Kraemer WJ, Piorowski PA, Bush JA, Gómez AL, Loebel CC, Volek JS, Newton RU, Mazzetti SA, Etzweiler SW, Putukian M, Sebastianelli WJ, 2000. The Effects of NCAA Division I Intercollegiate Competitive Tennis Match Play on Recovery of Physical Performance in Women. Journal of Strength and Conditioning Research, 14(3), 265–272.
- Kreibig SD, 2010. Autonomic nervous system activity in emotion: A review. Biological Psychology, 84(3), 394–421.
- Laborde S, Mosley E, Thayer JF, 2017. Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research—Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. Front. Psychol. 2017, 8, 213.
- Malik M, Bigger J, Camm A, Kleiger R, Malliani A, Moss A, 1996. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Eur Heart J, 17(3):354-81.
- Martínez BJS, 2013. Tenis Tarihi ve Gelişimi. Materiales para la Historia del Deporte , (11), 52-56.
- Mateo M, Blasco-Lafarga C, Martínez-Navarro I, Guzmán JF, Zabala M, 2012. Heart rate variability and pre-competitive anxiety in BMX discipline. Eur. J. Appl.Physiol, 112, 113–123.
- Mazon JH, Gastaldi AC, Martins-Pinge MC, Eduardo de Araújo J, Dutra de Souza HC, 2015. Study of Heart Rate Variability and Stress Markers in Basketball Players Submitted to Selective Loads Periodization System, Am. J. Sports Sci, 3, 46–51.
- McEwen BS, 2000. Allostasis, Allostatic Load, and the Aging Nervous System: Role of Excitatory Amino Acids and Excitotoxicity. Neurochemical Research, 25(9–10), 1219–1231.
- Meckel Y, Hophy A, Dunskey A, Eliakim A, 2015. Relationships between physical characteristics and ranking of young tennis players. Central European Journal of Sport Sciences and Medicine, 2(10), 5-12.
- Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, 2013. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport

- Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 186 – 205.
- Mellalieu SD, Hanton S, O'Brien M, 2004. Intensity and direction of competitive anxiety as a function of sport type and experience. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 14, 326–334.
- Melo RC, Santos MDB dos, Silva E, Quitério RJ, Moreno MA, Reis MS, 2005. Effects of age and physical activity on the autonomic control of heart rate in healthy men. *Braz J Med Biol Res*;38(9):1331-8.
- Mendez-Villanueva A, Fernández-Fernández J, Bishop DJ, Fernandez-Garcia B, Terrados N, 2007. Activity patterns, blood lactate concentrations and ratings of perceived exertion during a professional singles tennis tournament. *British Journal of Sports Medicine*, 41, 296–300; discussion 300.
- Meray J, Yenice IS, 2018. Beyin ve Egzersiz. *Journal of Physical Medicine & Rehabilitation Sciences*, 21(2).
- Morante S, Brotherhood J, 2006. Match characteristics of professional singles tennis. *Med Sci Tennis* 10(3): 12-13.
- Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Cappelle S, Henriët MT, Wolf JP, Regnard J, 2004. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 24(1), 10 – 18.
- Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Cappelle S, Henriët MT, Wolf JP, 2004. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 24 10–18.
- Muntañola MT, 1996. Evolución del deporte del tenis. *Apuntes. Educación Física y Deportes*, 44- 45, p. 12-18.
- Murias JM, Lanatta D, Arcuri CR, Laiño FA, Laino FA, Laiño FA, 2007. Metabolic and functional responses playing tennis on different surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 112–117.
- Navarro-Lomas G, Jurado-Fasoli L, Castillo MJ, Femia P, Amaro-Gahete FJ, 2020. Assessment of autonomous nerve system through non-linear heart rate variability outcomes in sedentary healthy adults, *PeerJ* 8, e10178.
- Nieto-Jiménez C, Pardos-Mainer E, Ruso-Alvarez JF, Naranjo-Orellana J, 2020. Training Load and HRV in a Female Athlete: A Case Study, 20, *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, pp. 321–333.
- Nista-Piccolo V, Zaffalon JR, Nascimento MC, Sartori M, Angelis KD, 2019. Heart rate variability in tennis players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 25, 202-206.
- Noyan A, 1993. Yaşamda ve Hekimlikte Fizyoloji, 8. Baskı, Ankara.
- Nugent AC, Bain EE, Thayer JF, Sollers JJ, Drevets WC, 2011. Heart rate variability during motor and cognitive tasks in females with major depressive disorder. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 191(1), 1 – 8.
- O'Donoghue P, Ingram BA, 2001. Notational analysis of elite tennis strategy. *J Sports Sci* 19: 107-115.
- Ogliari G, Mahinrad S, Stott DJ, Jukema JW, Mooijaart SP, Macfarlane PW, Clark EN, Kearney PM, Westendorp RG, de Craen AJ, 2015. Resting heart rate, heart rate variability and functional decline in old age. *CMAJ* 187: E442-E449.
- Oliveira RS, Leicht AS, Bishop D, Barbero-Álvarez JC, Nakamura FY, 2013. Seasonal changes in physical performance and heart rate variability in high level futsal players. *Int J Sports Med* 34: 424-430.
- Parker-Simmons S, Love P, 2018. Sports Nutrition for Tennis Players. In G. Di Giacomo, T. S. Ellenbecker, & W. Ben Kibler (Eds.), *Tennis Medicine* (pp. 563–572).
- Pascual MJ, 1993. Historia del tenis. En VV.AA. (ed.). *Tenis (I)*. Madrid. Comité Olímpico Español.
- Picabea JM, Cámara J, Nakamura FY, Yanci J, 2021. Comparison of Heart Rate Variability before and after a Table Tennis Match. *J. Hum. Kinet*, 77, 107–115.

- Pichon AP, de Bisschop C, Roulaud M, Denjean A, Papelier Y, 2004. Spectral analysis of heart rate variability during exercise in trained subjects. *Med Sci Sports Exerc* 36: 1702-1708.
- Pincus SM, 1991. Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 88, 2297–2301.
- Pineda-Hernandez S, 2022. How to play under pressure: EEG monitoring of mental activation training in a professional tennis player, *Physiol. Behav.* 113784.
- Plews DJ, Laursen PB, Kilding AE, Buchheit M, 2012. Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3729 – 3741.
- Plews DJ, Laursen PB, Stanley J, Kilding AE, Buchheit M, 2013. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Med* 43: 773-781.
- Podeszwa J, 2018. Heart Rate Variability: Monitoring Athletic Recovery, Optimizing Training Programs, And Preventing Injuries (Doctoral dissertation, California State University, Northridge).
- Posadzki P, Kuzdzal A, Lee MS, Ernst E, 2015. Yoga for Heart Rate Variability: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Clinical Trials. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 40: 239-249.
- Proietti R, di Fronso S, Pereira LA, Bortoli L, Robazza C, Nakamura FY, 2017. Heart rate variability discriminates competitive levels in professional soccer players, *J. Strength Cond. Res.* 31, 1719–1725.
- Rajendra Acharya U, Paul Joseph K, Kannathal N, Lim CM, Suri JS, 2006. Heart rate variability: A review. *Med Biol Eng Comput* 44: 1031-1051.
- Rave G, Fortrat JO, 2016. Heart rate variability in the standing position reflects training adaptation in professional soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 116(8), 1575 – 1582.
- Reed MJ, Robertson CE, Addison PS, 2005. Heart rate variability measurements and the prediction of ventricular arrhythmias. *QJM* 98: 87-95.
- Reid M, Duffield R, Dawson B, Baker J, Crespo M, 2008. Quantification of the physiological and performance characteristics of on-court tennis drills. *British Journal of Sports Medicine*, 42(2), 146-151.
- Reid M, Morgan S, Whiteside D, 2016. Matchplay characteristics of Grand Slam tennis : implications for training and conditioning. *34(19)*, 1791–1798.
- Reilly, Thomas, Palmer J, 1995. Investigation of exercise intensity in male singles lawn tennis. In Thomas Reilly, M. Hughes, & A. Lees (Eds.), *Science and racket sports I* (pp. 10–13). E & F N Spon.
- Richman JS, Moorman JR, 2000. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol*, 278, H2039–H2049.
- Schmidt A, Thews G, 1989. Autonomic Nervous System. In W. Janig (Ed.), *Human Physiology* (Second Edi, pp. 333–370).
- Schmitt L, Regnard J, Millet GP, 2015. Monitoring fatigue status with HRV measures in elite athletes: an avenue beyond RMSSD? *Front. Physiol.* 6, 343.
- Schmitt L, Regnard J, Parmentier AL, Mauny F, Mourot L, Coulmy N, Millet GP, 2015. Typology of “Fatigue” by heart rate variability analysis in elite Nordic-skiers. *International Journal of Sports Medicine*, 36(12), 999 – 1007.
- Shi Y, 2010. Central regulation of bone remodeling by leptin and the parasympathetic signaling (Order No. 3447943). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. Retrieved from.
- Silbernagl S, 1989. Despapulos, A. *Renkli Fizyoloji Atlası Arkadaş Tıp Kitabevleri Yayını, Çeviren; N. Hariri, İstanbul.*
- Smekal G, Von Duvillard SP, Rihacek C, 2001. A physiological profile of matchplay. *Med Sci Sports Exerc*, 33(6):999-1005.

- Smekal G, Von Duvillard SP, Rihacek C, Pokan R, Hofmann P, Baron R, Tschan H, Bachl N, 2001. A physiological profile of tennis match play. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6), 999–1005.
- Souza RA, Beltran OA, Zapata DM, Silva E, Freitas WZ, Junior RV, da Silva FF, Higino WP, 2019. Heart rate variability, salivary cortisol and competitive state anxiety responses during pre-competition and pre-training moments. *Biol. Sport*, 36, 39–46.
- Soykan A, 2009. Karate sporcularında uyarılma düzeyinin hedefe yönelik hareket koordinasyonuna etkisi (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Tereshchenko LG, Cygankiewicz I, McNitt S, Vazquez R, Bayes-Genis A, Han L, Sur S, Couderc JP, Berger RD, de Luna AB, 2012. Predictive value of beat-to-beat QT variability index across the continuum of left ventricular dysfunction: Competing risks of noncardiac or cardiovascular death and sudden or nonsudden cardiac death. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 5: 719-727.
- Thayer JF, Yamamoto SS, Brosschot JF, 2010. The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors, *Int. J. Cardiol.* 141, 122–131.
- Therminarias A, Dansou P, Chirpaz-Oddou MF, Gharib C, Quirion A, 1991. Hormonal and metabolic changes during a strenuous tennis match. Effect of ageing. *Int. J. Sports Med.* 12, 10–16.
- Therminarias A, Dansou P, Chirpaz-Oddou MF, Quirino A, 1990. Effects of age on heart rate response during a strenuous match of tennis. *The Journal of Sport Medicine and Physical Fitness*, 30, 389–396.
- Torres G, Cabello D, Carrasco L, 2004. Functional differences between tennis and badminton in young sportsmen. In A. Lees, J.-F. Kahn, & I. Maynard (Eds.), *Science and Racket Sports III*. Routledge; Taylor and Francis Group.
- Torres-Luque G, Sánchez-Pay A, Belmonte MJB, Ramón MM, 2011. Functional aspects of competitive tennis. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(3), 528–539.
- Tortora JG, 1983. *Principles of Human Anatomy*, Third Edition, New York.
- Tripsoskiadis F, Karayannis G, Giamouzis G, Skoularigis J, Louridas G, Butler J, 2009. The sympathetic nervous system in heart failure physiology, pathophysiology, and clinical implications. *J Am Coll Cardiol* 54: 1747-1762.
- Tyagi A, Cohen M, Reece J, Telles S, Jones L, 2016. Heart rate variability, flow, mood and mental stress during yoga practices in yoga practitioners, nonyoga practitioners and people with metabolic syndrome. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 41(4), 381 – 393.
- Vanderlei LC, Silva RA, Pastre CM, Azevedo FM, Godoy MF, 2008. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Braz J Med Biol Res* 41: 854-859.
- Vesterinen V, Häkkinen K, Hynynen E, Mikkola J, Hokka L, Nummela A, 2013. Heart rate variability in prediction of individual adaptation to endurance training in recreational endurance runners. *Scand J Med Sci Sports* 23: 171-180.
- Villafaina S, Crespo M, Martinez-Gallego R, Fuentes-Garcia JP, 2022. Heart rate variability in elite international ITF junior Davis cup tennis players. *Biology*, 12 (1).
- White E, Groeneveld K, Tittle R, Bolhuis N, Martin R, Royer T, Fotuhi M, 2017. Combined neurofeedback and heart rate variability training for individuals with symptoms of anxiety and depression: A retrospective study. *NeuroRegulation*, 4, 37.
- Williams S, Booton T, Watson M, Rowland D, Altini M, 2017. Heart rate variability is a moderating factor in the workload-injury relationship of competitive CrossFit™ athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 16(4), 443 – 449.
- Williford HN, Olson MS, Gauger S, Duey WJ, Blessing DL, 1998. Cardiovascular and metabolic costs of forward, backward, and lateral motion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(9), 1419–1423.
- Yılmaz M, Kayañççek H, Çekici Y, 2018. Heart rate variability: Highlights from hidden signals. *J. Integr. Cardiol*, 4, 1-8.

Zurita F, 1998. Deportes individuales en primaria. Atletismo y Tenis. Granada, Proyecto Sur Ediciones.  
Zygmunt A, Stanczyk J, 2010. Methods of evaluation of autonomic nervous system function. Archives of Medical Science, 6(1), 11-18.

