



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Untersuchung des Ruhe-EKGs bei Sportler:innen

verfasst von | submitted by

Simeon Stifter BSc

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt |

UA 066 826

Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student record
sheet:

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Jürgen Scharhag

Kurzfassung

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, kardiologische Parameter hinsichtlich Sportart, Alter und Geschlecht zu untersuchen und die Wichtigkeit regelmäßiger EKG-Diagnostik im Wettkampfsport hervorzuheben. Die modifizierten „Seattle-Kriterien“ dienen hierbei als zentrale Richtlinie zur präzisen Bewertung von EKG-Ergebnissen bei Athlet:innen um zwischen physiologischen Anpassungen und möglichen pathologischen Auffälligkeiten zu differenzieren.

Eine Einführung verpflichtender EKG-Untersuchungen in Österreich könnte die sportmedizinische Vorsorge stärken. Die Arbeit bietet eine Grundlage für künftige Forschung zu kardiologischen Auffälligkeiten bei österreichischen Sportler:innen, da solche Untersuchungen derzeit nicht verpflichtend sind und die Studienlage derzeit unzureichend ist.

Im Rahmen der „Sportslegend“-Studie unterzogen sich 369 Proband:innen einer umfassenden Gesundheitsuntersuchung, die eine Anamnese, eine körperliche Untersuchung sowie ein Ruhe-EKG beinhaltete. Aus diesen Daten wurden spezifische kardiologische Parameter – darunter Ruhe-Herzfrequenz, PQ-Zeit, QRS-Zeit und QTc-Zeit – analysiert und erhoben. Diese Parameter dienen zur detaillierten Erfassung und Auswertung der Herzgesundheit der Teilnehmenden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Herzfrequenz signifikant mit dem Geschlecht verbunden ist, wobei Männer im Durchschnitt eine niedrigere Herzfrequenz aufweisen als Frauen ($p=0,007$). Die PQ-Zeit weist eine signifikante Korrelation mit dem Alter auf ($p=0,038$), nicht jedoch mit dem Geschlecht oder der Sportkategorie. Die QRS-Zeit steht signifikant in Verbindung mit Alter und Geschlecht ($p=0,006$ bzw. $p=0,001$). Bei der QTc-Zeit wurden ebenfalls signifikante Zusammenhänge zu Alter und Geschlecht festgestellt ($p=0,016$ bzw. $p=0,018$). Die modifizierten Seattle-Kriterien zeigen signifikante Zusammenhänge mit dem Alter und der Sportkategorie ($p=0,001$), aber keinen Zusammenhang zum Geschlecht.

Es wird deutlich, dass geschlechtsspezifische Unterschiede und die Bedeutung einer differenzierten EKG-Bewertung nach Geschlecht relevant sind. Altersabhängige Variationen in kardiologischen Parametern legen nahe, dass eine separate Beurteilung für Kinder und Erwachsene notwendig ist. Zudem hat die Sportart wesentlichen Einfluss auf die kardiale Entwicklung, was spezifische und auf die jeweilige Sportkategorie abgestimmte Analysen erfordert. Dies unterstreicht die Relevanz genauer kardiologischer Bewertungsansätze in präventiven Untersuchungen und im sportmedizinischen Kontext.

Die Ergebnisse sind dahingehend bedeutsam, weil sie wesentliche Erkenntnisse zur Rolle von Alter, Geschlecht und Sportart auf kardiologische Parameter liefern. Sie

unterstreichen, dass eine differenzierte Beurteilung dieser Parameter notwendig ist, da sie je nach diesen Faktoren unterschiedlich ausfallen. Dies trägt zur Forschung bei, indem es die Grundlage für spezifische EKG-Referenzwerte schafft und darauf hinweist, dass kardiologische Bewertungsansätze in der präventiven Sportmedizin verfeinert werden müssen. Die Ergebnisse unterstützen die Entwicklung präziserer, zielgruppenspezifischer Diagnostik, die zu sichereren Sporttauglichkeitsbeurteilungen beitragen kann.

Abstract

The aim of this master's thesis is to investigate cardiological parameters with regard to type of sport, age and gender and to emphasise the importance of regular ECG diagnostics in competitive sport. The modified 'Seattle criteria' serve as a central guideline for the precise evaluation of ECG results in athletes in order to differentiate between physiological adaptations and possible pathological abnormalities.

Mandatory ECG testing in Austria could enhance sports medicine preventative care. Currently, such testing isn't required, and studies on this topic are limited, making this thesis a foundation for future research on cardiological abnormalities among Austrian athletes.

As part of the 'Sportslegend' study, 369 test subjects underwent a comprehensive health examination, which included a medical history, a physical examination and a resting ECG. From this data, specific cardiological parameters, including resting heart rate, PQ time, QRS time and QTc time, were analysed and recorded. These parameters are used to record and analyse the participants' heart health in detail.

The results show that heart rate is significantly associated with gender, with men, on average, having a lower heart rate than women ($p=0.007$). PQ time shows a significant correlation with age ($p=0.038$), but not with gender or sport category. QRS time is significantly related to age and gender ($p=0.006$ and $p=0.001$ respectively). QTc time was also found to be significantly related to age and gender ($p=0.016$ and $p=0.018$ respectively). The modified Seattle criteria showed significant correlations with age and sport category ($p=0.001$), but no correlation with gender.

It is clear that gender-specific differences and the importance of differentiated ECG assessment by gender are relevant. Age-dependent variations in cardiological parameters suggest that a separate assessments are necessary for children and adults. In addition, the type of sport has a significant influence on cardiac development, which requires specific analyses tailored to the respective sport category. This underlines the relevance of precise cardiological assessment approaches in preventive examinations and in the context of sports medicine.

The results provide key insights into the role of age, gender, and sports type on cardiac parameters, underlining the need for differentiated evaluation. This advances research by creating the basis for specific ECG reference values and emphasising that cardiac assessment methods in preventative sports medicine must be refined. The findings support the development of more precise, targeted diagnostics, which can contribute to safer fitness assessments for athletes.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	8
1.1 Ruhe-Herzfrequenz und Ruhe-EKG	9
1.1.1 Vorteile des Ruhe-EKGs	10
1.1.2 Nachteile des Ruhe-EKGs.....	10
1.1.3 Sensitivität und Spezifität des Ruhe-EKGs	10
1.1.4 Auswirkung von körperlicher Aktivität auf die Ruhe-Herzfrequenz.....	11
1.2 EKG-Abschnitte und kardiologische Parameter	12
1.2.1 Kardiologische Parameter	13
1.2.2 Herz-Lagetypen.....	13
1.2.3 PQ-Zeit	14
1.2.4 QRS-Zeit	14
1.2.5 QTc-Zeit.....	14
1.3 Sportler:innen-EKG und die Entwicklung der Interpretationskriterien	15
1.3.1 Forschungsstand und das Sport-EKG	15
1.3.2 Modifizierte „Seattle-Kriterien“	16
1.4 Ziele der Masterarbeit	19
2 Methodik	20
2.1 Datenerfassung	20
2.2 Beschreibung des Studienprojekts „Sportslegend“	20
2.3 Anamnese	20
2.3.1 Eigene Anamnese	21
2.3.2 Familienanamnese.....	21
2.3.3 Sportanamnese.....	21
2.4 Körperliche Untersuchung	22
2.5 Das Ruhe-EKG.....	23
2.6 Proband:innen	24
3 Ergebnisse	28
3.1 Deskriptive Statistik	28
3.1.1 Deskriptive Statistik im Altersvergleich	28
3.1.2 Deskriptive Statistik der Sportarten	30
3.1.3 Deskriptive Statistik der modifizierten „Seattle-Kriterien“	35
3.2 Gruppenvergleiche für kardiologische Parameter.....	37
3.2.1 Ruhe-Herzfrequenz.....	37
3.2.2 PQ-Zeit	39

3.2.3	QRS-Zeit	40
3.2.4	QTc-Zeit.....	42
3.2.5	Modifizierte „Seattle-Kriterien“	44
4	Diskussion	45
4.1	Diskussion der Ruhe-Herzfrequenz-Ergebnisse	45
4.2	Diskussion der PQ-Zeit-Ergebnisse	48
4.3	Diskussion der QRS-Zeit-Ergebnisse.....	50
4.4	Diskussion der QTc-Zeit-Ergebnisse	52
4.5	Diskussion der Ergebnisse der modifizierten „Seattle-Kriterien“	53
4.6	Limitationen	55
4.7	Schlussfolgerung	57
5	Literaturverzeichnis.....	61
6	Abbildungsverzeichnis	67
7	Tabellenverzeichnis.....	68
8	Grafikverzeichnis	70

Abkürzungsverzeichnis

cm	Centimeter
EKG	Elektrokardiogramm
M	Mittelwert
max	Maximum
min	Minimum
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
ms	Millisekunden
n	Anzahl
SD	Standard Deviation (Standardabweichung)
Sig.	Signifikanz

1 Einleitung

Die Durchführung einer sportmedizinischen Untersuchung bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen hinsichtlich der Teilnahme am Wettkampfsport ist vorwiegend unumstritten. Ziel der Untersuchung ist es unter anderem, bis dato unbekannte kardiovaskuläre Erkrankungen aufzudecken und so im schlimmsten Fall plötzliche Todesfälle bei der Sportausübung zu vermeiden. Nichtsdestotrotz bleibt die Frage, ob ein Ruhe-EKG Bestandteil einer sportmedizinischen Untersuchung sein sollte, umstritten. (Chaitman, 2007; Lawrenz, 2012). Während die American Heart Association (AHA) eine EKG-Untersuchung nur dann empfiehlt, wenn eine familiäre Vorbelastung vorhanden ist, herrscht in Europa der allgemeine Konsens, dass ein Ruhe-EKG verpflichtender Teil der sportmedizinischen Untersuchung sein sollte (Lawrenz, 2012).

Der plötzliche Herztod zählt zu den häufigsten Todesursachen bei Athlet:innen während dem Ausüben einer sportlichen Tätigkeit (Ragazzoni et al., 2023). In vielen Fällen sind erblich bedingte, strukturelle oder elektrisch kardiale Störungen mit dem plötzlichen Herztod verbunden. Im Ruhezustand können jedoch über ein 12-Kanal-Elektrokardiogramm (EKG) Unregelmäßigkeiten frühzeitig erkannt und somit schon vorab präventive Maßnahmen gesetzt und beschlossen werden (Ragazzoni et al., 2023; Sharma et al., 2018).

Im Gegensatz zu Italien besteht in Österreich aktuell keine Verpflichtung zur Durchführung eines Ruhe-EKGs im Rahmen sportmedizinischer Tauglichkeitsuntersuchungen. Studien, darunter Warscher (2021), belegen jedoch die Wirksamkeit solcher Untersuchungen, die eine präventive Rolle einnehmen und potenziell lebensbedrohliche kardiale Risiken bei Sportler:innen frühzeitig erkennen können.

Pressler und Niebauer (2020) plädieren dafür, dass EKG-Überwachungen Teil der Standardverfahren bei der sportmedizinischen Untersuchung von Athlet:innen werden sollten, um deren Sicherheit zu erhöhen und um fundierte Entscheidungen bezüglich ihrer sportlichen Aktivitäten treffen zu können.

Sharma et al., (2018) haben in ihren Empfehlungen festgehalten, wie wichtig die differenzierte Beobachtung des Ruhe-EKGs gerade bei erwachsenen und jungen Athleten:innen ist. Die Interpretation des Ruhe-EKGs bei Kindern und Jugendlichen kann frühzeitig Aufschluss darüber geben, ob ernsthafte kardiale Erkrankungen vorliegen. In weiterer Folge ist es essentiell, die Therapie so zu implementieren und zu steuern, dass die Teilnahme an Wettkämpfen trotzdem möglich ist.

Die Analyse des Ruhe-EKG, auf Basis der Empfehlungen von Ragazzoni et al. (2023) und Sharma et al. (2018), soll in dieser Arbeit Aufschluss darüber geben, wie das vorhandene

Studienkollektiv anhand der modifizierten „Seattle-Kriterien“ einzuteilen ist. Da sich die meisten Studien auf erwachsene Wettkampfsportler:innen konzentrieren, soll diese Masterarbeit auch zeigen, welche Kriterien und Vorschläge, insbesondere für Kinder und Jugendliche, zu beachten sind.

In weiterer Folge werden anhand der aktuellen kardiologischen Empfehlungen die vier Sportgruppen (Kraft,- Ausdauer,- „Skill“- und Sportsportbereich) hinsichtlich des Ruhe-EKGs analysiert. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es, die Unterschiede innerhalb der Gruppen hinsichtlich folgender kardiologischer Parameter zu untersuchen und zu vergleichen: Ruhe-Herzfrequenz, Lagetyp, PQ-Zeit, QRS-Zeit, QTc-Zeit, „Seattle Kriterien“.

1.1 Ruhe-Herzfrequenz und Ruhe-EKG

Die Ruhe-Herzfrequenz ist ein klinischer, nicht invasiv gemessener Parameter für die Herzfunktion und ein aussagekräftiger Indikator für die körperliche Fitness sowie für den allgemeinen Gesundheitszustand (Seviiri et al., 2018). Normalerweise beträgt der Herzfrequenz-Wert in Ruhe zwischen 50 und 90 Schläge pro Minute. Im Laufe des Tages kann der Wert schwanken, während der Schlafperiode können die Schläge auch noch weiter sinken (Nanzen, 2018). Bei trainierten Personen kann die Ruhe-Herzfrequenz auch bis zu 30 Schlägen pro Minute sinken. Nanzen (2018) betont, dass die Ruhe-Herzfrequenz zum Teil auch genetisch bedingt ist und es somit Unterschiede zwischen Männern und Frauen gibt. Eine niedrige Ruhe-Herzfrequenz wird mit Gesundheit und längerer Lebensdauer assoziiert, während umgekehrt eine hohe Ruhe-Herzfrequenz mit Krankheiten und kardiovaskulären Problemen in Verbindung gebracht wird (Seviiri et al., 2018; Jensen, 2019). Auch ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass die Messung der Herzfrequenz schon seit Jahrtausenden ein Indikator für Gesundheit und Krankheit in unterschiedlichen Kulturen gewesen ist (Jensen, 2019).

Das Ruhe-EKG stellt eines der wichtigsten Instrumente in der kardiovaskulären Wissenschaft und Medizin dar. Die Fachkenntnis der Elektrokardiographie und die korrekte Interpretation des Herzrhythmus liefern wichtige Informationen über den physiologischen Status der Patient:innen. Das Ruhe-EKG zeigt eine grafische Darstellung der elektrischen Aktivität des Herzmuskels. Die Elektroden, die an der Haut des/der zu Untersuchenden angebracht werden, zeichnen die durch die Erregung des Herzmuskels verursachten Schwankungen des elektrischen Potentials auf, so dass die Amplitude und Dauer der Wellenform berechnet werden können (Harris, 2016).

1.1.1 Vorteile des Ruhe-EKGs

Ein großer Vorteil einer Ruhe-EKG-Untersuchung ist jener, dass es sich um ein nichtinvasives Diagnostikverfahren handelt. Zusätzlich zur Anamnese stellt das EKG eine wertvolle Möglichkeit dar, asymptomatische Athlet:innen zu erkennen, die eine kardiologische Krankheit aufweisen. Außerdem ist eine 12-Kanal-EKG-Untersuchung eine einfache und kostengünstige Variante (Retzlaff, 2017). Mont et al. (2017) zeigen in ihrem Bericht, dass es zu einer klaren Steigerung der Sensitivität von unter 25% auf über 90% seit der Einführung des Ruhe-EKGs in der Vorsorgeuntersuchung gekommen ist. Das zeigt die Wichtigkeit von kardiologischen Untersuchungen im Hinblick auf die Prävention von Erkrankungen und dem plötzlichen Herztod (Retzlaff, 2017).

1.1.2 Nachteile des Ruhe-EKGs

Als wichtige Voraussetzung gilt, die Elektroden fachgerecht anzulegen. Die richtige Interpretation der Ergebnisse ist ebenso wichtig, wie die Erfahrung und das Wissen der untersuchenden Person. (Corrado et al., 2010). Besonders bei Sportler:innen müssen EKG-Veränderungen genau beobachtet werden, da es durch das körperliche Training zu Veränderungen des Herzens kommen kann. Diese können womöglich rechtzeitig als pathologisch erkannt werden. Auch das Risiko von falsch-positiven EKG-Interpretationen ist markant. Im Normalfall werden weitere Untersuchungen angeordnet, um pathologische Veränderungen auszuschließen oder zu bekräftigen. Diese Untersuchungen sind meist sehr teuer und können zu einem unberechtigten Trainings- und Sportverbot führen. Des Weiteren sind bestimmte kardiovaskuläre Erkrankungen Risikofaktoren für den plötzlichen Herztod, auch wenn keine EKG-Veränderungen festgestellt werden (Retzlaff, 2017).

1.1.3 Sensitivität und Spezifität des Ruhe-EKGs

Die Sensitivität des Ruhe-Elektrokardiogramms (EKG) bezieht sich auf die Fähigkeit des Tests, tatsächlich bestehende Erkrankungen zu identifizieren. Ein Test mit hoher Sensitivität weist nur eine geringe Anzahl falsch-negativer Ergebnisse auf. Bei Sportlern kann die Sensitivität des Ruhe-EKGs jedoch variieren, da körperliche Aktivität und die damit einhergehenden Anpassungen des Herz-Kreislauf-Systems zu physiologischen Veränderungen führen können, die möglicherweise nicht durch das Ruhe-EKG erfasst werden. Insbesondere Herzrhythmusstörungen oder strukturelle Anomalien können im Ruhe-EKG unerkannt bleiben, insbesondere, wenn sie nur während körperlicher Belastung auftreten (Drezner et al., 2017).

Die Spezifität eines diagnostischen Tests beschreibt dessen Fähigkeit, gesunde Personen korrekt zu identifizieren. Ein Test mit hoher Spezifität weist nur wenige falsch-positive Ergebnisse auf. Bei Sportlern können jedoch Herausforderungen auftreten, da die Herzfrequenzvariabilität sowie andere physiologische Anpassungen zu Veränderungen im EKG führen können, die nicht auf pathologische Zustände hindeuten. Diese Faktoren können die Interpretation des EKGs komplizieren und zu Fehlinterpretationen führen (Drezner et al., 2017).

1.1.4 Auswirkung von körperlicher Aktivität auf die Ruhe-Herzfrequenz

Regelmäßige Bewegung und körperliche Aktivität führen zu einer Verringerung der Ruhe-Herzfrequenz. Unterschiedliche Studien zeigen, dass vor allem Ausdauertraining einen positiven Effekt auf die Ruhe-Herzfrequenz hat (Huang et al., 2005; Reimers et al., 2018). Durch regelmäßige körperliche Belastung passt sich das Herz an, sodass es effizienter arbeitet. Diese Anpassung bedeutet, dass das Herz pro Schlag mehr Blut transportieren kann, was die Notwendigkeit senkt, bei gleicher Belastung häufiger zu schlagen. Diese Anpassung – häufig als „Sportlerherz“ bezeichnet – resultiert aus einer Kombination struktureller und funktioneller Veränderungen, die das Herz-Kreislauf-System darauf vorbereiten, große Mengen Sauerstoff zu transportieren, ohne dass die Herzfrequenz im Ruhezustand erhöht ist. (Friedrich, 2007). Regelmäßiges (Ausdauer-) Training hat einen senkenden Effekt auf den Herzfrequenz-Wert (Huang et al., 2005; Reimers et al., 2018). Durch regelmäßiges intensives Ausdauer- und Krafttraining kommt es auch zu Veränderungen der Herzstruktur. In der Anatomie des Herzens kommt es zur Dilatation der Herzkammern und allgemein des gesamten Herzens. Auch die Herzwände gewinnen an Dicke (Martinez et al., 2021).

1.2 EKG-Abschnitte und kardiologische Parameter

Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Sektoren eines EKG-Zacken näher beschrieben und die Merkmale und Funktion erklärt.

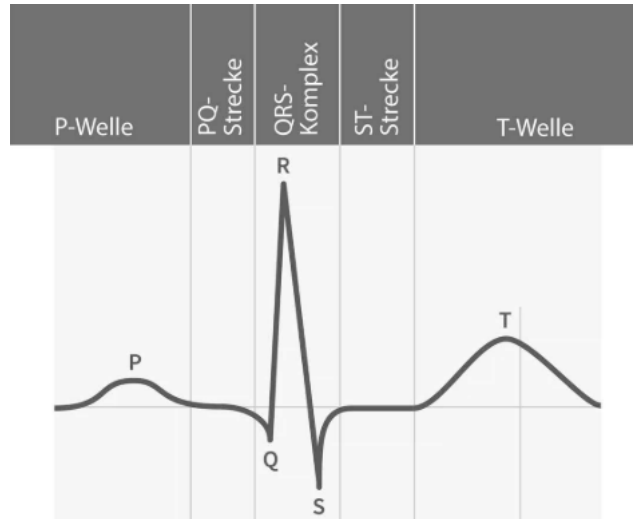


Abbildung 1: Die Kurve eines EKGs (<https://www.ratgeber-herzinsuffizienz.de/erkennen/herzuntersuchungen/ekg>).

- P-Welle: Die Bedeutung der P-Welle stellt die Erregung der Vorhöfe dar und ist die erste kleine halbrunde positive Zacke nach der Null-Linie (Cook-Sup So, 2013).
- PQ-Dauer: Hier findet die Erregungsweiterleitung vom Vorhof zum AV-Knoten, dem His-Bündel und den Tawara-Schenkeln statt. Die PQ-Dauer stellt jene Zeit vom Beginn der P-Welle bis zum Beginn der Q-Zacke dar (Cook-Sup So, 2013).
- Q-Zacke: Dieses Merkmal leitet den Beginn der Kammererregung ein und ist die erste negative kleine Zacke nach der P-Welle und dem Abschluss der PQ-Zeit (Cook-Sup So, 2013).
- R-Zack: Die hohe positive R-Zacke symbolisiert die Kammererregung des Herzens. Diese stellt den ersten positiven Ausschlag nach der P-Zacke dar (Cook-Sup So, 2013).
- S-Zacke: Die S-Zacke kennzeichnet weiterhin die Kammererregung und ist ein kleine negative Zacke nach der hohen R-Zacke (Cook-Sup So, 2013).
- QRS-Komplex: Dieser Komplex setzt sich aus den drei vorher genannten Zacken zusammen und verkörpert die Kammererregungsausbreitung (Cook-Sup So, 2013).
- T-Zacke: Das am Ende stehende Merkmal eines EKG-Abschnittes leitet die Erregungsrückbildung der Kammer ein (Cook-Sup So, 2013).

- PQ-Dauer (PQ-Zeit): Die Zeit vom Beginn der P-Zacke bis zum Beginn der Q-Zacke, also die Erregungsleitungszeit vom Vorhof zum AV-Knoten, dem His-Bündel und den Tawara-Schenkeln (Cook-Sup So, 2013).
- PQ-Strecke: Der Abschnitt vom Ende der P-Zacke bis zum Beginn der Q-Zacke. Aus klinischer Sicht hat diese Strecke keine Bedeutung (Cook-Sup So, 2013).
- ST-Strecke: Die Zeit vom Ende der S-Zacke bis zum Beginn der T-Zacke. Das ist jener Teil, der zwischen dem Ende der Kammererregungsausbreitung und dem Beginn der Erregungsrückbildung der Kammer (Cook-Sup So, 2013).
- QT-Dauer (QT-Zeit): Die Zeit vom Beginn der Q-Zacke bis zum Beginn der T-Zacke, also jene Zeit vom Beginn der Erregungsausbreitung bis zum Ende der Erregungsrückbildung der Kammer (Cook-Sup So, 2013).
- Null-Linie (isoelektrische Linie): Die Strecke symbolisiert die Grundlinie, die zwischen den einzelnen EKG-Zacken verläuft. Somit befindet sie sich in den meisten Fällen zwischen der T-Welle und der P-Welle (Cook-Sup So, 2013).

1.2.1 Kardiologische Parameter

Im folgenden Abschnitt werden Lagetyp, PQ-Zeit, QRS-Zeit, und QTc-Zeit näher beschrieben und erklärt. Diese kardialen Faktoren spielen bei der EKG-Beurteilung und Interpretation eine wichtige Rolle.

1.2.2 Herz-Lagetypen

Im klinischen Setting bei der EKG-Auswertung ist es zur Routine geworden den Lagetypen des Herzens zu bestimmen. Unter dem Lagetypen versteht man eine elektrische Herzachse auf der Frontalebene. Die Richtung des Hauptvektors kann man aus der Größe und Intensität des QRS-Komplexes definieren und erhält dadurch den Lagetypen des Herzens. Der Hauptvektor beschreibt die Hauptkraft (Hauptrichtung der elektrischen Erregung), also die Summe der gesamten Einzelpotentiale der Herzzellen während einer Systole (Kleindienst, 2008; Cook-Sup So, 2013; Horacek, 2018).

Über die EKG-Ableitungen kann der Lagetyp erkannt werden. In der Praxis unterscheidet man zwischen vier Lagetypen, die am häufigsten vorkommen: Rechtstyp, Steiltyp, Mitteltyp (Indifferenztyp), und Linkstyp. Die Lagetypen überdrehter Linkstyp, überdrehter Rechtstyp und Sagittaltyp kommen eher selten vor (Cook-Sup So, 2013; Horacek, 2018).

Der Lagetyp wird durch den Körperbau und das Alter beeinflusst. Bei Erwachsenen ist der Indifferenztyp am häufigsten. Bei Jugendlichen und dünnen, großen Erwachsenen tritt der Steiltyp vermehrt auf (Kleindienst, 2008). Zu einer pathologischen Veränderung des Lagetypen kommt es dann, wenn sich durch Überlastung bestimmter Abschnitte des Herzens die Verteilung der Muskelmasse verschiebt (Kleindienst, 2008).

1.2.3 PQ-Zeit

Das PQ-Intervall (auch PR-Intervall) symbolisiert die Dauer der Erregungsleitung vom Vorhof bis zum Atrioventrikularknoten (AV-Knoten) und weiter zu den Purkinje-Fasern. Die Dauer der PQ-Zeit sollte zwischen 0,12-0,21 Sekunden (120-200 ms) betragen (Cook-Sup So, 2013; Magnani et al., 2013). Das elektrokardiographische PQ-Intervall nimmt mit steigendem Alter zu. Jedoch muss trotzdem beachtet werden, dass ein verlängertes Intervall auf unterschiedliche Herzerkrankungen und Störungen hinweisen kann. Somit kann die maximal akzeptable Dauer von Person zu Person variieren (Magnani et al., 2013). Die Dauer der P-Welle stellt einen wichtigen Teil des PQ-Intervalls dar und hat somit Auswirkung darauf, wie lange die PQ-Dauer ist (Schumacher et al., 2017). Verkürzte oder verlängerte Intervalle deuten in vielen Fällen auf Herzerkrankungen hin. In vielen Fällen handelt es sich hierbei um Vorhofflimmern (Schumacher et al., 2017). Bei Personen, die regelmäßigen kardiovaskulären Beanspruchungen ausgesetzt sind, kann eine verkürzte PQ-Dauer unauffällig sein, diese muss aber trotzdem individuell abgeklärt werden (Magnani et al., 2013).

1.2.4 QRS-Zeit

Der QRS-Komplex oder auch Kammer-Komplex kennzeichnet die Erregungsausbreitung in beiden Ventrikeln. Die erste negative Spitze im QRS-Komplex wird als Q-Zacke bezeichnet und repräsentiert die Depolarisation des Septums. Sie kann jedoch manchmal fehlen. Die positiven Spitzen im QRS-Komplex werden als R-Zacken bezeichnet. Die negative Spitze, die auf eine R-Zacke folgt, nennt man S-Zacke. Der Punkt, an dem der QRS-Komplex in die ST-Strecke übergeht, wird als J-Punkt bezeichnet (Haverkamp, 2017). Die Dauer eines QRS-Komplexes sollte maximal 111 Millisekunden betragen (Horacek, 2018).

1.2.5 QTc-Zeit

Das QTc-Intervall beschreibt die gesamte Depolarisierung und Repolarisation einer Erregungsdauer im Herzen. Die Normwerte für Männer liegen bei maximal 450 Millisekunden, bei Frauen liegt der Wert bei 460 Millisekunden (Rautaharju et al., 2009; Haverkamp, 2017).

Ein QTc-Intervall geringer als 390 Millisekunden soll unabhängig vom Geschlecht als zu kurz angesehen werden (QT-Syndrom) (Trautwein, 2022).

1.3 Sportler:innen-EKG und die Entwicklung der Interpretationskriterien

Italien ist bei den sportmedizinischen Testungen führend und gilt als Vorbild bei der Umsetzung. Seit 1982 ist die Sporttauglichkeitsuntersuchung inklusive EKG in Italien für alle Wettkampfsportler:innen gesetzlich verpflichtend (Warscher, 2021). Seit den 2000er Jahren steigt das Interesse in Europa an regelmäßigen EKG-Untersuchungen kontinuierlich, um Risikopersonen frühzeitig zu identifizieren. 2007 wurden bereits Empfehlungen für gewöhnliche, trainingsbedingte und ungewöhnliche nicht-trainingsbedingte EKG-Veränderungen veröffentlicht (Scharhag & Burgstahler, 2013). 2012 wurden erstmals die „Seattle-Kriterien“ vorgestellt (Drezner et al., 2013). 2017 wurden die überarbeiteten und verbesserten Kriterien vorgelegt. 2023 stellten Ragazzoni et al. (2023) spezifische EKG-Kriterien für Kinder und Jugendliche vor.

In den meisten Ländern Europas werden nur Empfehlung zu EKG-Untersuchung ausgesprochen. Für professionelle Sportler:innen gibt es bereits über die jeweiligen Verbände verpflichtende Herz-Untersuchungen. In Österreich und Deutschland fehlt es weiterhin an einem konsequenten Untersuchungssystem für Hobby-Wettkampfsportler:innen (Scharhag & Burgstahler, 2013).

1.3.1 Forschungsstand und das Sport-EKG

Bei Personen, die regelmäßig Sport betreiben, kommt es aufgrund der körperlichen Belastung zur funktionellen und strukturellen Anpassung des Herzens. Durch die physiologische Adaption des vegetativen Nervensystems an die Belastung, kann es zu Veränderungen des Ruhe-EKGs kommen (Scharhag & Burgstahler, 2013). Derzeit geben die modifizierten „Seattle-Kriterien“ von Sharma et al. (2018) bestmöglich darüber Aufschluss, ob bei Sportler:innen, aufgrund ihrer Ruhe-EKG-Ergebnisse, weitere Untersuchungen notwendig sind. Dadurch soll im Vergleich zu früheren Einteilungen eine höhere Spezifität bei gleichbleibender Sensitivität bei der Diagnostik von kardiologischen Erkrankungen erreicht werden (Scharhag & Burgstahler, 2013).

2023 haben Ragazzoni et al. EKG-Ergebnisse für Kinder und Jugendliche publiziert. Bisher fehlte ein differenzierter und angemessener Leitfaden zur EKG-Interpretation bei jungen Sportler:innen, der spezifische physiologische Anpassungen durch sportliche Aktivität ausreichend berücksichtigt. Ragazzoni et al. (2022) bekräftigen die Wichtigkeit der

Untersuchungen schon in jungen Jahren, da die Möglichkeit einer frühen Entdeckung von kardiologischen Erkrankungen wahrscheinlicher ist. Dadurch können früher gezielte therapeutische Maßnahmen eingeleitet und die Teilnahme an Wettkämpfen ermöglicht werden (Ragazzoni et al., 2023; Schindler & Schmied, 2016). Auch Koch et al., (2014) bekräftigen die Wichtigkeit der frühzeitigen EKG-Untersuchungen, da intensives körperliches Training bei der Bewertung der kardiovaskulären Anpassung bereits berücksichtigt werden sollte.

Die Interpretation des Sport-EKGs bringt einige Herausforderungen mit sich und benötigt somit ein gewisses Erfahrungsniveau. Daher müssen die Sport-EKGs von speziell geschulten Personen beurteilt werden. (Ujeyl & Niederseer, 2023). Das Risiko von Fehldiagnosen durch falsch-positive oder falsch-negative Beurteilungen stellt eine weitere Herausforderung dar (Drezner et al., 2017). Zusätzlich darf der Einfluss von Alter und Geschlecht auf das EKG nicht vernachlässigt werden. Jüngere Sportler:innen zeigen oft andere EKG-Muster als ältere Athleten:innen. Auch auf den geschlechterspezifischen Unterschied muss bei der Interpretation Rücksicht genommen werden (Drezner et al., 2017).

Bei vielen kardiovaskulären Erkrankungen ist ein allgemeines Sportverbot nicht notwendig. Allerdings sollte den aktuellen Richtlinien zufolge eine Adaption in der Sportempfehlung hinsichtlich der Belastung, Intensität, Dauer und Pausenzeit erfolgen (Schindler & Schmied, 2016).

1.3.2 Modifizierte „Seattle-Kriterien“

Die Rubrik „Normal ECG Findings“ unterscheidet sich zwischen sportlichen Erwachsenen und sportlichen Kindern und Jugendlichen kaum. Intensive sportliche Belastungen die regelmäßig und über einen langen Zeitraum ausgeführt werden, führen zu einer Vergrößerung der Herzkammern und einem erhöhten Vagustonus. Diese EKG-Befunde bei Sportler:innen werden als unproblematisch angesehen. Die regelmäßige sportliche Aktivität führt zu einer physiologischen Anpassung, daher sind keine weiteren Untersuchungen erforderlich (Sharma et al., 2018). Der unvollständige Rechtsschenkelblock, der bei Erwachsenen als normal eingestuft wird, findet sich bei jungen Athlet:innen in der Grenzfall-Kategorie. Weitere Befunde, wie die frühe Repolarisation/ST-Segment-Hebung, Sinusbradykardie, Herzrhythmusstörungen oder erhöhte QRS-Spannung bei links- oder rechtsventrikulärer Hypertrophie, finden sich bei beiden Gruppen in der normalen Kategorie. EKG-Ergebnisse, welche in die Kategorie „Normal ECG Findings“ eingestuft werden, benötigen keine weiteren Untersuchungen, wenn es keine familiäre Vorbelastung durch

vererbte Herzkrankheiten oder einen plötzlichen Herztod gibt (Ragazzoni et al., 2023; Sharma et al., 2018).

Aktuelle Daten legen nahe, dass jene EKG-Ergebnisse, die in die „Borderline ECG Findings“ hineinfallen, möglicherweise normale Varianten darstellen oder das Resultat eines physiologisch kardialen Umbaus bei Sportler:innen sind und in der Regel nicht auf pathologische Herzerkrankungen hindeuten. Daher wurden diese Ergebnisse als grenzwertig kategorisiert (Ragazzoni et al., 2023; Sharma et al., 2018). Obwohl der unvollständige Rechtsschenkelblock bei jungen Athlet:innen nicht selten ist, scheint diese Diagnose in der Grenzwert-Kategorie auf, da er in Verbindung mit einer rechtsseitigen Achsenabweichung ($>110^\circ$) steht und ein Hinweis auf eine Belastung des rechten Ventrikels sein könnte. Daher bedarf es einer sorgfältigen Interpretation. Bei erwachsenen Sportler:innen fällt auch die Diagnose der Vergrößerung des linken und/oder rechten Vorhofs in die „Borderline ECG Findings“. Bei Kindern und Jugendlichen wurden dahingehend nur ungenügende diagnostische Werte festgestellt. Daher wurden biatriale Vergrößerungen aus der Liste gestrichen. Wenn zwei oder mehr Diagnosen aus der Kategorie „Borderline ECG Findings“ festgestellt werden, müssen weitere Untersuchungen stattfinden. Bei nur einer Diagnose oder festgestellten Pathologie, muss keine weitere Untersuchung durchgeführt werden (Ragazzoni et al., 2023; Sharma et al., 2018).

Die Kategorie „Abnormal ECG Findings“ weist die größten Unterschiede zwischen Erwachsenen, Kindern und Jugendlichen auf. Viele pathologische Herzerkrankungen, die mit dem plötzlichen Herztod in Verbindung stehen, weisen Anomalien im Ruhe-EKG auf. Die T-Wellen-Inversion ist die konsistenteste elektrische Abnormalität bei Patient:innen mit Kardiomyopathie. Der komplette Linksschenkelblock scheint bei beiden Altersgruppen in der abnormalen Kategorie auf. Der komplette Rechtsschenkelblock lässt sich jedoch nur bei Kindern und Jugendlichen in der abnormalen Kategorie finden (bei Erwachsenen ist diese Diagnose bei „Borderline ECG Findings“). ST-Senkungen und pathologische Q-Wellen werden auch bei kardiomyopathischen und ischämischen Herzerkrankungen festgestellt. Primäre elektrische Erkrankungen wie ventrikuläre Präexzitation (Herzrhythmusstörung), LQTS (Ionenkanalerkrankungen) und Brugada-Syndrom werden durch abnorme EKG-Befunde nahegelegt und/oder diagnostiziert. Bei jungen Athlet:innen sollte beim EKG außerdem auf vorzeitig atriale und ventrikuläre Schläge geachtet werden. Keiner dieser abnormalen Befunde sind anerkannte physiologische Veränderungen eines sportlichen Trainings und erfordern immer weitere Untersuchungen zum Ausschluss einer Herzerkrankung. Bei Athlet:innen mit abnormalen EKG-Befundungen sollte der Trainings- und Wettkampfbetrieb vorübergeben

eingeschränkt werden, bis weitere Untersuchungen abgeschlossen sind (Drezner et al., 2017; Ragazzoni et al., 2023; Sharma et al., 2018).

Über das EKG gibt es die Möglichkeit, vorhandene kardiovaskuläre Erkrankungen, die in Verbindung mit dem plötzlichen Herztod stehen, zu erkennen. Jedoch bestehen Limitationen bezüglich der Sensitivität und Spezifität betreffen. Das EKG ist nicht in der Lage, anomale Koronararterien, vorzeitige koronare Atherosklerose und Aortopathien zu erkennen. Vereinzelt können auch Patient:innen mit Kardiomyopathien, insbesondere mit arrhythmogener rechtsventrikulärer Kardiomyopathie (ARVC), ein normales EKG aufweisen (Sharma et al., 2018).

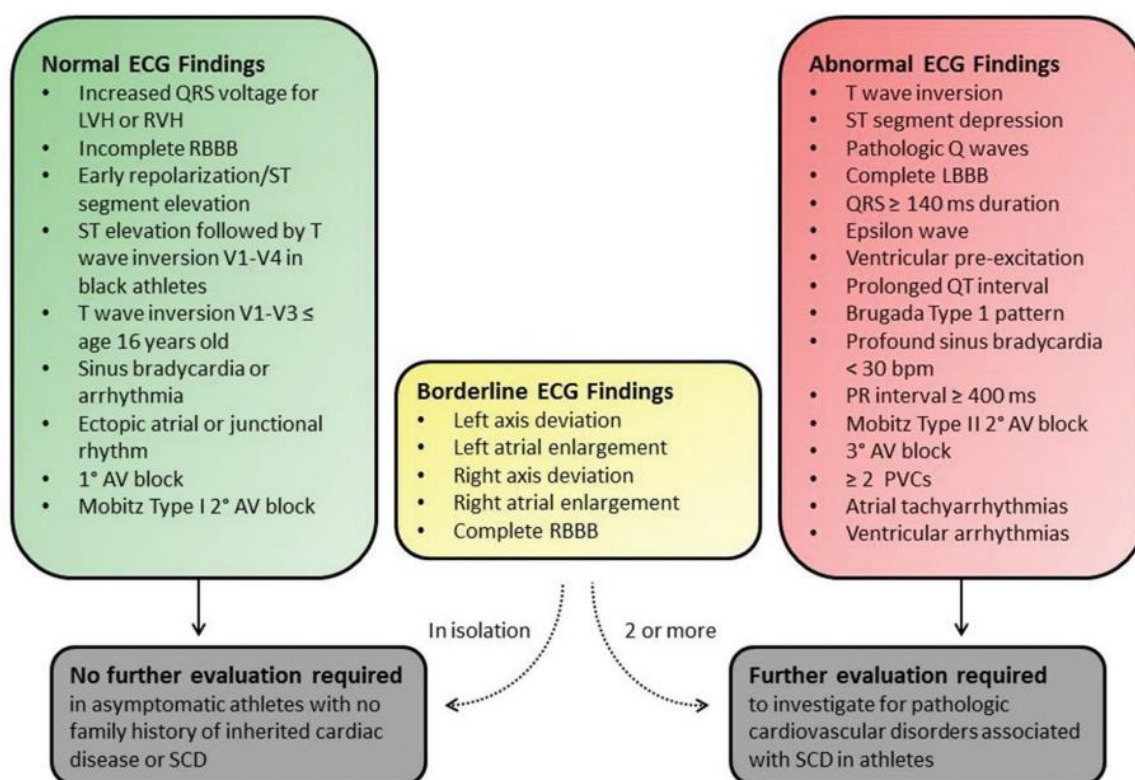


Abbildung 2: Die "Seattle-Kriterien". Internationaler Standard für die Interpretation von EKGs bei Sportler:innen (Sharma et al., 2018).

Beschreibung zu Abbildung 2:

- AV, atrioventricular block: atrioventrikulärer Block
- LBBB, left bundle branch block: Linksschenkelblock
- LVH, left ventricular hypertrophy: linksventrikuläre Hypertrophie
- RBBB, right bundle branch block: Rechtsschenkelblock
- RVH, right ventricular hypertrophy: rechtsventrikuläre Hyperthrophie
- PVC, premature ventricular contraction: vorzeitige ventrikuläre Kontraktion
- SCD, sudden cardiac death: plötzlicher Herztod

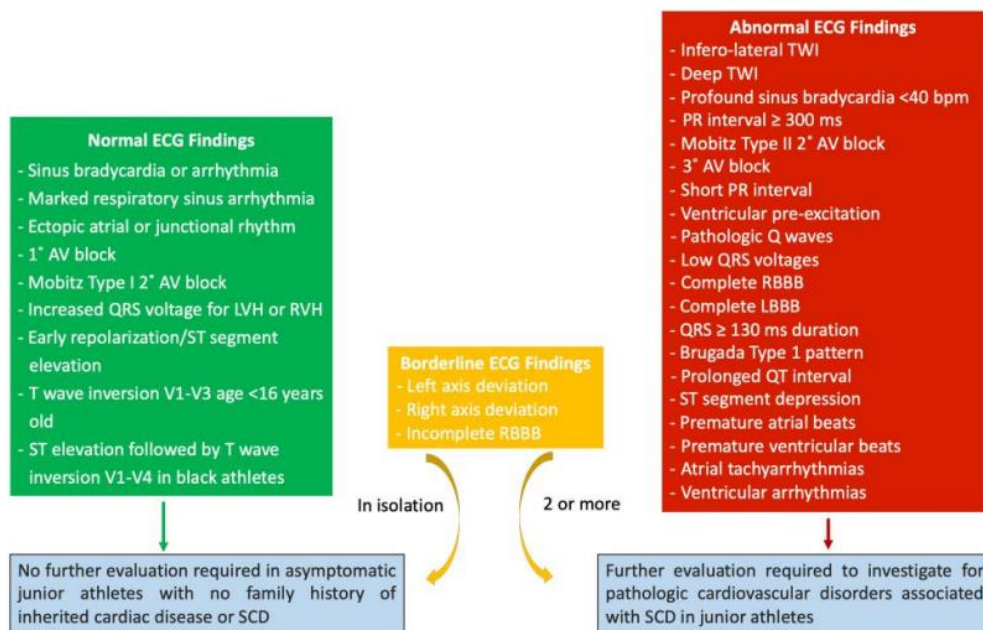


Abbildung 3: Empfehlungen der EKG-Interpretation von pädiatrischen SportlerInnen (Ragazzoni et al., 2023).

1.4 Ziele der Masterarbeit

Die modifizierten „Seattle-Kriterien“ gelten aktuell als die präzisesten Leitlinien für die Interpretation des Ruhe-EKGs bei Sportler:innen und sind damit für Basis- und Vorsorgeuntersuchungen essenziell (Schindler & Schmied, 2016; Sharma et al., 2018).

Diese Masterarbeit verfolgt mehrere zentrale Ziele: Erstens soll die Bedeutung von EKG-Untersuchungen vor dem Eintritt in den Wettkampfsport anhand vorhandener Daten dargelegt werden. Zweitens wird untersucht, ob signifikante Unterschiede im EKG-Profil je nach Sportkategorie bestehen. Dazu sollen mithilfe identifizierter kardiologischer Parameter Unterschiede sowohl zwischen verschiedenen Sportkategorien als auch zwischen Geschlechtern festgestellt werden.

Zudem strebt diese Arbeit an, die Bedeutung routinemäßiger EKG-Untersuchungen für Sportler:innen stärker zu betonen und die allgemeine Sensibilisierung für dieses Thema zu fördern. Langfristig ist die Einführung verpflichtender Ruhe-EKG-Untersuchungen für alle Wettkampfsportler:innen in Österreich das übergeordnete Ziel.

Da in Österreich derzeit keine verpflichtenden EKG-Kontrollen in der sportmedizinischen Tauglichkeitsuntersuchung vorgesehen sind und bisher keine umfassenden Studien zu diesem Thema existieren, kann diese Arbeit eine wertvolle Grundlage für künftige Untersuchungen und zur Identifikation potenzieller EKG-Auffälligkeiten bei österreichischen Sportler:innen schaffen.

2 Methodik

Im folgenden Kapitel wird auf die Methodik der Masterarbeit eingegangen. Dabei wird der genaue Ablauf und das durchgeführte Studiendesign beschrieben.

2.1 Datenerfassung

Im Jänner 2022 wurde vom ÖISM (Österreichisches Institut für Sportmedizin) in Kooperation mit der Abteilung Sportmedizin, Leistungsphysiologie und Prävention der Universität Wien unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. med. J. Scharhag das Studienprojekt „Sportslegend“ (Sportliche Leistungsfähigkeit und Gesundheit) ins Leben gerufen. Diese fortlaufende Studie nimmt Gesundheitsdaten von Schüler:innen, Kadersportler:innen und Wettkampfsportler:innen auf. Alle Teilnehmer:innen der Studie unterziehen sich einer Anamnese, einer körperlichen Untersuchung und einem 12-Kanal-EKG in Ruhe.

Für diese Masterarbeit wurden ausschließlich Gesundheitsdaten von 369 Proband:innen von Jänner 2022 bis Jänner 2025 berücksichtigt.

2.2 Beschreibung des Studienprojekts „Sportslegend“

Die „Sportslegend“-Studie wird unter der Leitung von Dr. Theresa Hofbauer und Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag durchgeführt. Das Ziel der Studie ist es, wichtige Parameter und Daten zur sportlichen Leistungsfähigkeit und Gesundheit (Sportslegend) kontinuierlich zu erheben. Außerdem sollen die Sporttauglichkeitsuntersuchungen optimiert und verbessert werden. Das jährliche Kollektiv von 350 Personen sollte erfüllt werden. Untersucht werden Gesundheitssportler:innen, Wettkampf- und Kadersportler:innen und Schüler:innen von Sportschulen. In die Datenbank fließen anonymisierte, leistungsbezogene, medizinische und anthropometrische Daten ein.

2.3 Anamnese

Die Anamnese ist ein zentraler Teil der medizinischen Untersuchung, besonders im sportmedizinischen Bereich. Sie dient dazu, wichtige Informationen über Vorerkrankungen, familiäre Dispositionen und sportliche Belastungen der Sportler:innen zu erfassen. In dieser wissenschaftlichen Studien wurde die Anamnese genutzt, um gesunde Proband:innen ohne Vorerkrankungen auszuwählen. Dies ist entscheidend, um valide und unverfälschte Ergebnisse über die natürlichen kardiovaskulären Anpassungen an sportliche Belastungen zu erhalten.

2.3.1 Eigene Anamnese

Die Anamnese erfolgte mithilfe eines Fragebogens, durch den relevante Informationen über die Proband:innen erfasst wurden. Insbesondere sollte von der/dem Sportler:in selbst angegeben werden, ob sie/er eine akute oder chronische Erkrankung hatte. Akute entzündliche Erkrankungen (z.B.: Fieber, Husten) schloss eine Sportfreigabe aus. Im Zuge des Studienprojekts „Sportslegend“ wurde neben den kardiologischen Parametern auch leistungsphysiologische Daten erhoben. Diese sind für diese Masterarbeit nicht relevant. Auf aktuelle Beschwerden und auf eventuelle körperliche Beeinträchtigungen während der sportlichen Aktivität (Atemnot, Herzrasen, Schmerzen/Brennen in der Brust, orthopädische Beschwerden) musste eingegangen werden. Allfällige Operationen bzw. regelmäßige Medikamenteneinnahme mussten erfragt werden. Zu Routinefragen bei der Anamnese gehörten auch die Harn- und Stuhlgewohnheiten, sowie die Essensgewohnheiten (Diät, vegetarisch, vegan, etc.). Zusätzlich sollte Nikotin- und Alkoholkonsum protokolliert werden. Bei Frauen sollte der Menstruationsstatus bzw. die Pilleneinnahme dokumentiert werden.

2.3.2 Familienanamnese

Im Zuge der Familienanamnese wurde vor allem auf Herzerkrankungen und chronische, beziehungsweise eventuell genetische Erkrankungen, eingegangen. Die Fragestellungen beinhalteten insbesondere das Phänomen des plötzlichen Herztods innerhalb der Familie vor dem 65. Lebensjahr, aber auch Bluthochdruck, koronare Herzkrankheiten oder Herzinsuffizienz bei erst- und zweitgradigen Verwandten. Bei teilnehmenden Kindern war es sinnvoll, die Anamnese im Beisein der Eltern durchzuführen.

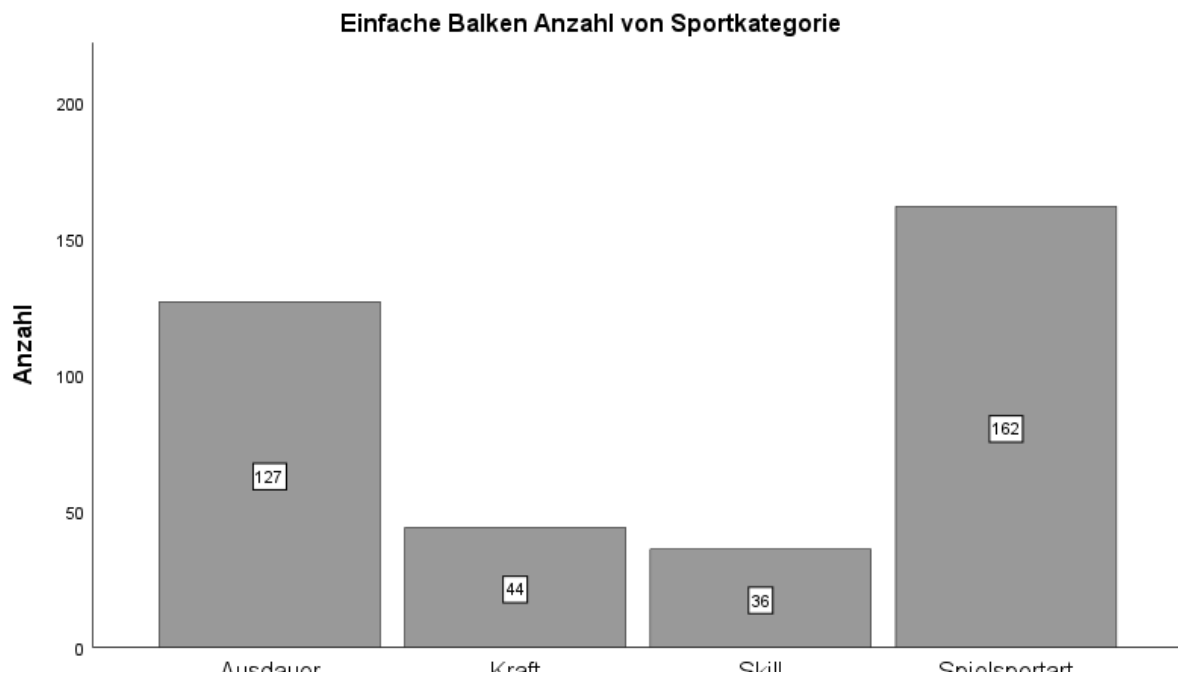
2.3.3 Sportanamnese

Über die Sportanamnese wurde erhoben, welche Hauptsportart betrieben wurde und auf welchem Niveau sich die Person befand, beziehungsweise, wie lange diese Sportart schon ausgeübt wurde. Hierbei kam es zur Einteilung in vier Sportkategorien.

- Kraftsportarten: Gewichtheben, Ringen, Skifahren, Snowboarden, Kurzstreckenlauf (100-200m), Boden- und Geräteturnen, Sportklettern, Judo, Kanu (Wildwasser).
- Ausdauersportarten: Rudern und Kanu (Flachwasser), Schwimmen, Langstreckenlauf und Marathon, Radfahren, Triathlon, Fünfkampf, Skilanglauf.
- Sportarten: Fußball, Basketball, Volleyball, Handball, Wasserball, Eishockey, Tennis.

- „Skill“-Sportarten: Golf, Tischtennis, Reiten, Schießen, Karate, Taekwondo, Curling, Segeln, rhythmische Sportgymnastik.

Von den 369 Proband:innen kamen 127 Personen (34,4%) aus dem Ausdauerbereich, 44 Sportler:innen (11,9%) aus Kraftsportarten, 36 Teilnehmer:innen (9,8%) betrieben „Skill“-Sportarten und 162 Personen (43,9%) wurden einer Sportart zugewiesen. Diese vier Kategorien halfen bei der besseren und genaueren Auswertung und Einteilung der Teilnehmer:innen.



Grafik 1: Verteilung der Proband:innen auf die Sportkategorien.

2.4 Körperliche Untersuchung

Anschließend wurde die körperliche Untersuchung durchgeführt (Körpergewicht und Größe). Dazu gehörte die Inspektion, aus der bereits wichtige orthopädische (Plattfuß, Fehlhaltungen), neurologische (Paresen, Gangstörung) oder internistische Erkrankungen oder Auffälligkeiten erkannt werden konnten. Zur Untersuchung gehörte auch das Betrachten der Schleimhäute, Begutachtung des Mund- und Rachenraum oder Unregelmäßigkeiten an der Haut. Auch die Perkussion stellte einen Teil der körperlichen Untersuchung dar. Dabei wurden das Herz und die Lunge durch leichtes Klopfen oder Abklopfen kontrolliert. Die Palpation der Lymphknoten im Hals-, Schulter-, Axilla- und Inguinalbereich wurden bei der Untersuchung ebenfalls abgetastet. Eine Vergrößerung des Herzens kann bei (Ausdauer-) Sportler:innen Teil der physiologischen Adaption sein.

Weiters wurden in Rückenlage die Bauchorgane abgetastet, um auf eventuelle Unregelmäßigkeiten aufmerksam zu werden. Anschließend wurde eine Auskultation und Blutdruckmessung in Ruhe durchgeführt.

Die orthopädische Untersuchung umfasste die Inspektion des Stütz- und Bewegungsapparates im aufrechten Stand von allen Seiten. Die Ausprägung der Muskulatur, alle Abschnitte der Wirbelsäule, aber auch die Gelenke an Armen und Beinen sowie aktive und passive Beweglichkeit sollten genau untersucht werden.

Zur neurologischen Untersuchung gehört die Perkussion der Reflexe und ein Hör- und Sehtest.

2.5 Das Ruhe-EKG

Abschließend wurde das Ruhe-EKG bei den Teilnehmer:innen mit dem *Customed* EKG-System (12-Kanal EKG custo cardio 400, *Customed*, München) gemessen. Alle EKGs beinhalteten zwölf Ableitungen: sechs Extremitäten- (I, II, III, aVL, aVR, aVF) und sechs Brustwandableitungen (V1, V2, V3, V4, V5 und V6). Die graphische Darstellung erfolgte auf Millimeterpapier. Dafür wurden in Ruhe und in Rückenlage 10-20 Sekunden lange EKG-Streifen aufgenommen. Um die Höhe der Messfehler gering zu halten, wurden alle Ruhe-EKGs unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Dadurch sollten typische und untypische EKG-Veränderungen bei den Sportler:innen erkannt werden. Das Anlegen der EKG-Elektroden erfolgte laut internationaler Norm. Die Extremitätenableitungen wurden nach Einthoven und Goldberg am linken Arm (II, aVL), rechten (I, aVR) Arm und am linken Bein (III, aVF) mithilfe der Elektroden befestigt. Am rechten Bein befand sich eine Erdungselektrode. Die Brustwandableitungen nach Wilson wurden wie folgt befestigt (Retzlaff, 2017; Trappe & Schuster, 2017):

- V1 im vierten Interkostalraum (ICR) am rechten Rand des Sternum
- V2 im 4. ICR am linken Rand des Sternum
- V3 zwischen V2 und V4 auf der fünften Rippe
- V4 am Schnittpunkt des fünften ICR mit der linken Medioklavikularlinie
- V5 28 auf der gleichen Höhe wie V4, auf der vorderen Axillarlinie
- V6 auf der gleichen Höhe wie V4, auf der mittleren Axillarlinie

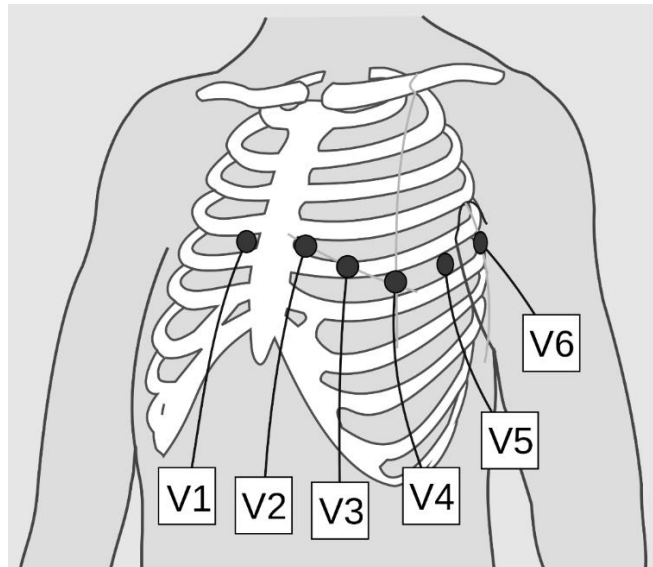


Abbildung 4: Die Brustwandableitungen nach Wilson (Wikipedia, 2007).

Folgende Parameter der EKG-Befundung wurden für jede teilnehmende Person dokumentiert:

- Ruhe-Herzfrequenz
- Lagetyp
- PQ-Zeit
- QRS-Zeit
- QTc-Zeit
- Störungen im Ruhe-EKG

Anschließend kam es zur EKG-Interpretation und Einteilung der Werte anhand der modifizierten „Seattle Kriterien“ (siehe Kapitel Forschungsstand).

2.6 Proband:innen

Im Zeitraum von Jänner 2022 bis Jänner 2024 wurden Gesundheitsdaten von 369 Schüler:innen, Kadersportler:innen und Wettkampfsportler:innen erhoben. Davon waren 105 weibliche Teilnehmerinnen und 264 männliche Teilnehmer. Das durchschnittliche Alter im Gesamtkollektiv betrug 24,2 Jahre (SD elf Jahre, min. 13 Jahre, max. 59 Jahre). Bei den Frauen betrug das durchschnittliche Alter 21,4 Jahre (SD 9 Jahre, min. 14 Jahre, max. 55 Jahre). Bei den Männern betrug das durchschnittliche Alter 25,3 Jahre (SD zwölf Jahre, min. 13 Jahre, max. 59 Jahre).

		Alter zum Testzeitpunkt			
		n	M $\pm$ SD	min	max
Geschlecht	Weiblich	105	21 $\pm$ 9	54	13
	Männlich	264	25 $\pm$ 12	59	13
	Gesamt	369	24 $\pm$ 11	59	13

Tabelle 1: Alter zum Testzeitpunkt im Gesamtkollektiv und bei getrennten Geschlechtern.

Betrachtet man die Körpergröße aller Teilnehmer:innen, so lag der Mittelwert aller Personen bei 175,6 cm (SD 9 cm, min. 151 cm, max. 198 cm). Der Mittelwert der Körpergröße der Frauen war 165,8 cm (SD 6 cm, min. 153 cm, max. 183 cm). Der Mittelwert der Männer belief sich auf 179,4 cm (SD 8 cm, min. 151 cm, max. 198 cm).

		Größe (cm)			
		n	M $\pm$ SD	min	max
Geschlecht	Weiblich	105	165 $\pm$ 6	153	183
	Männlich	264	179 $\pm$ 8	151	198
	Gesamt	369	175 $\pm$ 9	151	198

Tabelle 2: Übersicht der Körpergröße (cm) aller Teilnehmer:innen.

Im Gesamtkollektiv betrug der Mittelwert des Körpergewichts 70,7 kg (SD 13 kg, min. 36 kg, max. 118 kg). Bei den Frauen lag der durchschnittliche Wert des Körpergewichts bei 60,8 kg (SD 10 kg, min. 37 kg, max. 104 kg). Die männlichen Teilnehmer wogen im Durchschnitt 74,6 kg (SD 13 kg, min. 36 kg, max. 118 kg).

		Gewicht (kg)			
		n	M $\pm$ SD	min	max
Geschlecht	Weiblich	105	60 $\pm$ 10	37	104
	Männlich	264	74 $\pm$ 13	36	118
	Gesamt	369	70 $\pm$ 13	36	118

Tabelle 3: Übersicht des Körpergewichts (kg) aller Teilnehmer:innen.

Der Mittelwert der gesamten Datenmenge des BMI (Body-Mass-Index) betrug 22,75 (SD drei, min. 15,6, max. 36) Bei den Frauen lag der durchschnittliche BMI bei 22 (SD drei, min. 15,6, max. 36). Bei den Männern lag der Mittelwert bei 23,03 (SD 3, min. 15,8, max. 33,5).

		BMI (kg/m ²)			
		n	M ± SD	min	max
Geschlecht	Weiblich	105	22 ± 3	15	36
	Männlich	264	23 ± 3	15	33
	Gesamt	369	22 ± 3	15	33

Tabelle 4: Übersicht des BMI der Teilnehmer:innen.

Wird der BMI genauer betrachtet, so lässt sich feststellen, dass 30 Personen (8,1%) in die Kategorie „Untergewicht“ fielen. 251 teilnehmende Sportler:innen (68,1%) wurden dem Normalgewicht zugeordnet. 88 Personen (23,8) wurden als übergewichtig eingestuft.

	Häufigkeit	Prozent
Untergewicht (<18,5)	30	8,1
Normalgewicht (18,5-24,9)	251	68,1
Übergewicht (>25)	88	23,8
Gesamt	369	100

Tabelle 5: Verteilung der Teilnehmer:innen auf die BMI-Kategorien.

Einen Teil der Sporttauglichkeitsuntersuchungen stellte die Blutdruckmessung dar. Von 369 Teilnehmer:innen wurden bei 366 Personen Blutdruckwerte aufgenommen. Der systolische Blutdruck hatte einen Mittelwert von 120 mmHg und der durchschnittliche Wert des diastolischen Blutdrucks belief sich auf 75 mmHg. Der niedrigste gemessene Wert der Systole lag bei 95 mmHg, der höchste Wert bei 160 mmHg. Bei der Diastole betrug der niedrigste Wert 55 mmHg und der höchste 100 mmHg.

	n	M $\pm$ SD	min	max
Blutdruck Systole	366	199 $\pm$ 10	95	160
Blutdruck Diastole	366	75 $\pm$ 7	55	100

Tabelle 6: Übersicht der Blutdruckwerte (mmHg) der Teilnehmer:innen.

Alle erhobenen Daten aus dem EKG und den personenbezogenen Daten wurden anonymisiert in eine digitale Datenbank eingetragen, sodass keine Rückschlüsse auf eine reelle Person gezogen werden kann.

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik

3.1.1 Deskriptive Statistik im Altersvergleich

Von 369 Teilnehmer:innen waren 152 Personen 18 Jahre oder jünger. Davon waren 51 (13,8%) Sportlerinnen weiblich und 101 Sportler (27,4%) männlich. Von 217 Personen über 18 Jahre alt waren 54 Frauen (14,6%) und 163 Männer (44,2%).

Betrachtet man die Sportkategorien genauer, so zeigt sich, dass die überwiegende Mehrheit (162 Personen) Sportsportarten betrieb. 127 junge Sportler:innen übten Ausdauersportarten aus, 36 Personen übten „Skill“-Sportarten aus und 44 Sportler:innen gingen Kraftsportarten nach.

			Sportkategorie			
			Ausdauer	Kraft	Skill	Sportsport
Unter 18	Geschlecht	Weiblich	16	3	6	26
		Männlich	16	3	5	77
	Gesamt		32	6	11	103
Über 18	Geschlecht	Weiblich	20	9	11	14
		Männlich	75	29	14	45
	Gesamt		95	38	25	59

Tabelle 7: Verteilung der Sportkategorien der über 18-Jährigen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Unterschiede zwischen Männern und Frauen unter und über 18 Jahren bei der Ruhe-Herzfrequenz und den kardiologischen Parametern.

Der Mittelwert der Ruhe-Herzfrequenz der unter 18-jährigen Männer (66) ist leicht niedriger als bei den unter 18-jährigen Frauen (70).

Bei der PQ-Zeit und der QRS-Zeit zeigen beide Geschlechter kaum einen Unterschied.

Die durchschnittliche QTc-Zeit der unter 18-jährigen ist bei den Frauen (423) leicht höher als bei den Männern (412).

Der Mittelwert der Ruhe-Herzfrequenz der Männer (63) über 18 Jahre ist leicht niedriger als der der Frauen (69).

Die durchschnittliche PQ-Zeit und QRS-Zeit sind bei den weiblichen Teilnehmer:innen über 18 Jahre niedriger als bei den über 18-jährigen Männer, die durchschnittliche QTc-Zeit ist bei den über 18-jährigen Männern allerdings niedriger als bei den über 18-jährigen Frauen.

		Weiblich			Männlich		
		M ± SD	min	max	M ± SD	min	max
Unter 18	Ruhe-Herzfrequenz (Schläge/min)	70 ± 11	48	92	66 ± 11	50	104
	PQ-Zeit (ms)	134 ± 21	94	207	141 ± 19	96	200
	QRS-Zeit (ms)	89 ± 8	77	116	99 ± 8	80	119
	QTc-Zeit (ms)	423 ± 19	380	463	412 ± 21	354	461
Über 18	Ruhe-Herzfrequenz (Schläge/min)	69 ± 13	45	112	63 ± 11	30	93
	PQ-Zeit (ms)	143 ± 20	107	186	152 ± 21	107	204
	QRS-Zeit (ms)	90 ± 11	76	145	103 ± 9	85	159
	QTc-Zeit (ms)	421 ± 30	354	545	407 ± 25	302	437

Tabelle 8: Vergleich der kardiologischen Parameter zwischen Männern und Frauen unter und über 18 Jahre.

Vergleicht man die kardiologischen Parameter hinsichtlich der Sportkategorien untereinander, so zeigt sich, dass die Ruhe-Herzfrequenzen sehr ähnliche Werte aufweisen. Sowohl bei den unter als auch über 18-Jährigen sind die Werte mehr oder weniger übereinstimmend.

Auch die Mittelwerte der PQ-Zeit, QRS-Zeit und die QTc-Zeit sind bei beiden Altersgruppen annähernd gleich und unterscheiden sich kaum.

		Ausdauer	Kraft	Skill	Spielsport
		M ± SD	M ± SD	M ± SD	M ± SD
Unter 18	Ruhe-Herzfrequenz (Schläge/min)	68 ± 14	68 ± 8	71 ± 10	67 ± 11
	PQ-Zeit (ms)	138 ± 19	128 ± 13	131 ± 12	140 ± 21
	QRS-Zeit (ms)	95 ± 9	91 ± 8	94 ± 8	96 ± 9
	QTc-Zeit (ms)	415 ± 23	407 ± 11	423 ± 20	415 ± 20
Über 18	Ruhe-Herzfrequenz (Schläge/min)	64 ± 12	64 ± 9	69 ± 12	65 ± 13
	PQ-Zeit (ms)	153 ± 21	147 ± 20	143 ± 18	149 ± 22
	QRS-Zeit (ms)	101 ± 12	101 ± 12	97 ± 11	99 ± 10
	QTc-Zeit (ms)	414 ± 29	407 ± 34	404 ± 22	410 ± 20

Tabelle 9: Vergleich der kardiologischen Parameter hinsichtlich der Sportkategorien der unter und über 18-Jährigen.

3.1.2 Deskriptive Statistik der Sportarten

Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen kardiologischen Faktoren anhand der Sportkategorien analysiert.

3.1.2.1 Ausdauersport

Der Mittelwert der Ruhe-Herzfrequenz von den 127 Ausdauersportler:innen lag bei 64 Schläge/min (SD zwölf Schläge/min). Die niedrigste Ruhe-Herzfrequenz lag bei 30 Schlägen/min, die höchste bei 93 Schlägen/min.

Die durchschnittliche PQ-Zeit der Ausdauerathlet:innen betrug 149 ms. Die SD lag bei 21 ms. Die niedrigste gemessene Zeit im PQ-Intervall lag bei 94 ms, die höchste festgestellte Zeit bei 203 ms.

Das Mittelmaß der QRS-Zeit wurde mit 99 ms gemessen und hatte eine SD von elf ms. Die kürzeste Dauer eines QRS-Komplexes lag bei 77 ms, die längste Dauer bei 159 ms.

Die durchschnittliche Dauer der QTc-Zeit bei Ausdauerathlet:innen lag bei 415 ms, wobei die SD bei 31 ms lag. Als Minimum der QTc-Zeit wurden 302 ms gemessen, das Maximum lag bei 414 ms.

	M ± SD	min	max
Ruhe-Herzfrequenz (Schläge/min)	64 ± 12	30	93
PQ-Zeit (ms)	149 ± 21	94	203
QRS-Zeit (ms)	99 ± 11	77	159
QTc-Zeit (ms)	414 ± 27	302	545

Tabelle 10: Übersicht der kardiologischen Parameter der Ausdauersportler:innen.

86 Personen (67,7%) wiesen einen Herz-Steiltyp auf. Bei 18 Ausdauersportler:innen (14,2%) wurde ein Indifferenztyp diagnostiziert. Fünf Personen (3,9%) hatten einen Linkstyp. 14 Teilnehmer:innen (10,3%) hatten einen Rechtstyp. Drei Sportler:innen (2,4%) wiesen einen überdrehten Linkstyp auf und eine Ausdauersportler:in (0,8%) wurde ein Sagittaltyp diagnostiziert.

Lagetyyp	Häufigkeit	Prozent
1	86	67,7
2	18	14,2
3	5	3,9
4	14	11
5	3	2,4
7	1	0,8
Gesamt	127	100

Tabelle 11: Verteilung der Lagetypen aller Ausdauersportler:innen. 1:Steiltyp, 2: Indifferenztyp, 3:Linkstyp, 4:Rechtstyp, 5: überdrehter Linkstyp, 7: Sagittaltyp.

3.1.2.2 Kraftsport

Der Mittelwert der Ruhe-Herzfrequenz der Kraftsportler:innen wurde mit 64 Schlägen/min erfasst. Die SD lag bei neun Schlägen/min. Die niedrigste gemessene Ruhe-Herzfrequenz wurde mit 46 Schlägen/min aufgezeichnet. Der höchste Wert lag bei 87 Schlägen/min.

Die durchschnittliche Zeit des PQ-Intervalls wurde mit 144 Millisekunden (ms) dokumentiert. Die SD lag bei 20 ms. Das Minimum wurde mit 107 ms bemessen, das Maximum mit 183 ms.

Als Mittelmaß der QRS-Zeit wurden 99 ms mit einer SD von elf ms gemessen. Die kürzeste Dauer eines QRS-Komplexes lag bei 76 ms, die längste Dauer bei 145 ms.

Die durchschnittliche Dauer der QTc-Zeit der Kraftsportler:innen lag bei 407 ms, mit einer SD von 31 ms. Das Minimum der QTc-Zeit wurde mit 302 ms bemessen, das Maximum lag bei 491 ms.

	M $\pm$ SD	min	max
Ruhe-Herzfrequenz (Schläge/min)	64 $\pm$ 9	46	87
PQ-Zeit (ms)	144 $\pm$ 20	107	183
QRS-Zeit (ms)	99 $\pm$ 11	76	145
QTc-Zeit (ms)	407 $\pm$ 31	302	491

Tabelle 12: Übersicht der kardiologischen Parameter der KraftsportlerInnen.

Betrachtet man die Lagetypen der Kraftsportler:innen zeigt sich wieder, dass der Herz-Steiltyp am häufigsten verbreitet war. 39 Personen (88,6%) wiesen diesen Lagetypus auf. Zwei Personen (4,5%) wurden mit einem Indifferenztyp diagnostiziert. Eine Person (2,3%) hatte einen Linkstyp und bei zwei Kraftsportler:innen (4,5%) wurde ein Rechtstyp festgestellt.

Lagetyt	Häufigkeit	Prozent
1	39	88,6
2	2	4,5
3	1	2,3
4	2	4,5
Gesamt	44	100

Tabelle 13: Verteilung der Lagetypen der Kraftsportler:innen. 1:Steiltyp, 2: Indifferenztyp, 3:Linkstyp, 4:Rechtstyp

3.1.2.3 „Skill“-Sport

Die durchschnittliche Ruhe-Herzfrequenz der 36 „Skill“-Sportler:innen belief sich auf 69 Schläge/min. Wobei die SD bei elf Schlägen/min lag. Die niedrigste gemessenen Ruhe-Herzfrequenz lag bei 45 Schlägen/min, die höchste gemessenen bei 92 Schlägen/min.

Die durchschnittliche PQ-Zeit betrug 139 Millisekunden (ms). Die SD lag bei 16 ms. Die niedrigste gemessene Zeit im PQ-Intervall lag bei 104 ms, die höchste gemessene Zeit bei 175 ms.

Das Mittelmaß der QRS-Zeit wurde mit 96 ms gemessen und hatte eine SD von neun ms. Die kürzeste Dauer eines QRS-Komplexes lag bei 76 ms, die längste Dauer bei 115 ms. Die durchschnittliche Dauer des QTc-Intervalls lag bei 409 ms, mit einer SD von 23 ms. Die kürzeste Intervallzeit lag bei 364 ms, die längste Zeit bei 475 ms.

	M $\pm$ SD	min	max
Ruhe-Herzfrequenz (Schläge/min)	96 $\pm$ 11	45	92
PQ-Zeit (ms)	139 $\pm$ 16	104	175
QRS-Zeit (ms)	96 $\pm$ 9	76	115
QTc-Zeit (ms)	409 $\pm$ 23	364	475

Tabelle 14: Übersicht der kardiologischen Parameter der "Skill"-Sportler:innen.

29 der 35 teilnehmenden „Skill“-Sportler:innen (80,6%) wiesen einen Herz-Steiltyp auf. Bei vier Personen (11,1%) wurde ein Indifferenztyp diagnostiziert. Zwei Sportler:innen (5,6%) hatten einen Linkstyp und eine Person wies einen Rechtstyp (2,8%) auf.

Lagetyt	Häufigkeit	Prozent
1	29	80,6
2	4	11,1
3	2	5,6
4	1	2,8
Gesamt	43	100

Tabelle 15: Verteilung der Lagetyten der "Skill"-Sportler:innen. 1:Steiltyp, 2: Indifferenztyp, 3:Linkstyp, 4:Rechtstyp.

3.1.2.4 Spielsport

Der Mittelwert der 162 Spielsportler:innen belief sich auf 66 Schläge/min, bei einer SD von elf Schlägen/min. Die niedrigste Herzfrequenz wurde bei 37 Schlägen/min gemessen, die höchste Herzfrequenz mit 112 Schlägen/min.

Die durchschnittliche PQ-Zeit betrug 143 Millisekunden (ms). Die SD lag bei 21 ms. Die niedrigste gemessene Zeit im PQ-Intervall lag bei 96 ms, die höchste gemessene Zeit bei 207 ms.

Das Mittelmaß der QRS-Zeit wurde mit 97 ms bemessen und hatte eine SD von neun ms. Die kürzeste Dauer eines QRS-Komplexes lag bei 77 ms, die längste Dauer bei 119 ms.

Die durchschnittliche Dauer der QTc-Zeit der Sportler:innen lag bei 413 ms, wobei die SD bei 20 ms lag. Das Minimum der QTc-Zeit wurde mit 354 ms bemessen, das Maximum lag bei 461 ms.

	M $\pm$ SD	min	max
Ruhe-Herzfrequenz (Schläge/min)	66 $\pm$ 11	37	112
PQ-Zeit (ms)	143 $\pm$ 21	96	207
QRS-Zeit (ms)	97 $\pm$ 9	77	119
QTc-Zeit (ms)	413 $\pm$ 20	354	413

Tabelle 16: Übersicht der kardiologischen Parameter der Sportler:innen.

Der häufigste Herz-Lagetypp mit einer Rate von 137 Sportler:innen (84,6%) war der Steiltyp. 13 Personen (8%) wiesen einen Indifferenztyp auf. Eine Person (0,6%) hatte einen Linkstyp. Bei sieben teilnehmenden Personen (4,3%) wurde ein Rechtstyp festgestellt und bei 3 Personen (1,9%) wurde ein Sagittaltyp erkannt. Bei einer Person wurde der Lagetypp als fehlend vermerkt.

Lagetypp	Häufigkeit	Prozent
1	137	84,6
2	13	8
3	1	0,6
4	7	4,3
7	3	1,9
Fehlend	1	0,6
Gesamt	162	100

Tabelle 17: Verteilung der Lagetypen der Sportler:innen. 1:Steiltyp, 2: Indifferenztyp, 3:Linkstyp, 4:Rechtstyp, 7: Sagittaltyp

3.1.3 Deskriptive Statistik der modifizierten „Seattle-Kriterien“

Ein weiteres Ziel dieser Masterarbeit war es, alle teilnehmenden Sportler:innen anhand des Ruhe-EKGs in die modifizierten „Seattle-Kriterien“ einzuteilen. Von 369 Teilnehmer:innen fiel die Mehrheit von 340 (92,1%) Personen in die Normalkategorie („Normal ECG Findings“). 28 (7,6%) Personen wurden der Grenzwertkategorie zugeordnet („Borderline ECG Findings“). Nur eine Person (0,3%) fiel in die Kategorie der abnormalen EKG-Beurteilung („Abnormal ECG Findings“).

	Häufigkeit	Prozent
Normal	340	92,1
Borderline	28	7,6
Abnormal	1	0,3
Gesamt	369	100

Tabelle 18: Die Verteilung des Gesamtkollektives auf die modifizierten "Seattle-Kriterien".

Betrachtet man das Gesamtkollektiv im Geschlechtervergleich, so lässt sich bei den Frauen feststellen, dass 99 (94,3% bzw. 27,2% vom Gesamtkollektiv) Sportlerinnen in die normale Kategorie gefallen sind und sechs (5,7% bzw. 1,6% vom Gesamtkollektiv) Personen die Grenzwertkategorie fielen.

Bei den männlichen Teilnehmern fielen 241 (91,3% bzw. 65,1% vom Gesamtkollektiv) Personen in die normale Kategorie. 22 Sportler (8,3% bzw. 5,9% vom Gesamtkollektiv) wurden aufgrund des EKGs in die „Borderline ECG Findings“ eingeteilt und ein (0,4% bzw. 0,3% vom Gesamtkollektiv) Sportler wurde abnormal kategorisiert.

	Frauen		Männer	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Normal	99	94,3	241	91,3
Borderline	6	5,7	22	8,3
Abnormal	0	0	1	0,4
Gesamt	105	100	264	100

Tabelle 19: Geschlechtergetrennte Darstellung der modifizierten „Seattle Kriterien“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv.

Einen weiteren wichtigen Untersuchungsaspekt der Studie bildete der Vergleich zwischen unter 18-jährigen Sportler:innen und erwachsenen Sportler:innen (zum Zeitpunkt der Untersuchung) bezogen auf die modifizierten „Seattle-Kriterien“.

152 Proband:innen (41,3%) waren 18 Jahre oder jünger. Davon wiesen 149 Sportler:innen (98% bzw. 40,5% vom Gesamtkollektiv) ein normales Ruhe-EKG auf. Drei Studienteilnehmer:innen (2% bzw. 0,8% vom Gesamtkollektiv) fielen in die Grenzwert-Kategorie.

In die Rubrik der über 18-jährigen Teilnehmer:innen fielen 217 (58,7%) Personen. Von diesen zeigten 191 Sportler:innen (88% bzw. 51,6% vom Gesamtkollektiv) ein normales Ruhe-EKG. 25 Proband:innen (11,5% bzw. 6,7% vom Gesamtkollektiv) wurden der Grenzwert-Kategorie zugeordnet und eine Person (0,5% bzw. 0,3% vom Gesamtkollektiv) wurde aufgrund des Ruhe-EKGs als abnormal klassifiziert.

	< 18 Jahre		>18 Jahre	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Normal	149	98	191	88
Borderline	3	2	25	11,5
Abnormal	0	0	1	0,5
Gesamt	152	100	217	100

Tabelle 20: Altersgetrennte Darstellung der modifizierten „Seattle-Kriterien“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv.

Die folgende Tabelle veranschaulicht die abweichende Beurteilung gemäß den „Seattle-Kriterien“. Ohne die Anwendung der aktualisierten Kriterien, wären zwei kardiologisch auffällige Kinder/Jugendliche nicht in die „Borderline“-Kategorie eingestuft worden, was möglicherweise zur Folge gehabt hätte, dass weitere Untersuchungen ausgeblieben wären.

Modifizierte „Seattle Kriterien“			„Seattle Kriterien“	
	Alter < 18			Alter < 18
Normal	150		Normal	152
Borderline	3		Borderline	1
Abnormal	0		Abnormal	0
Gesamt	153		Gesamt	153

Tabelle 21: Diese Tabelle zeigt die differenzierte Ruhe-EKG-Beurteilung anhand des Studienkollektivs.

3.2 Gruppenvergleiche für kardiologische Parameter

Folgendes Kapitel beschäftigt sich mit den Gruppenvergleichen der kardiologischen Parameter. Es soll gezeigt werden, welche Unterschiede und Zusammenhänge zwischen dem Alter, Geschlecht und der Sportkategorie hinsichtlich der kardiologischen Parameter besteht. Zu Beginn der Analyse wurde das Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ festgelegt, um die statistischen Hypothesen zu testen. Daraufhin wurde eine ANOVA durchgeführt, um mögliche Unterschiede zwischen den Gruppen zu untersuchen. Somit wird eine Fehlerwahrscheinlichkeit von fünf Prozent vorausgesetzt.

3.2.1 Ruhe-Herzfrequenz

Betrachtet man die „Herzfrequenz“ und vergleicht diese mit den Parametern Alter, Geschlecht und Sportkategorie kommt man zu folgenden Ergebnissen:

Zwischen der Sportkategorie und der Herzfrequenz ($p=0,315$) wurde kein statistisch signifikanter Zusammenhang gefunden.

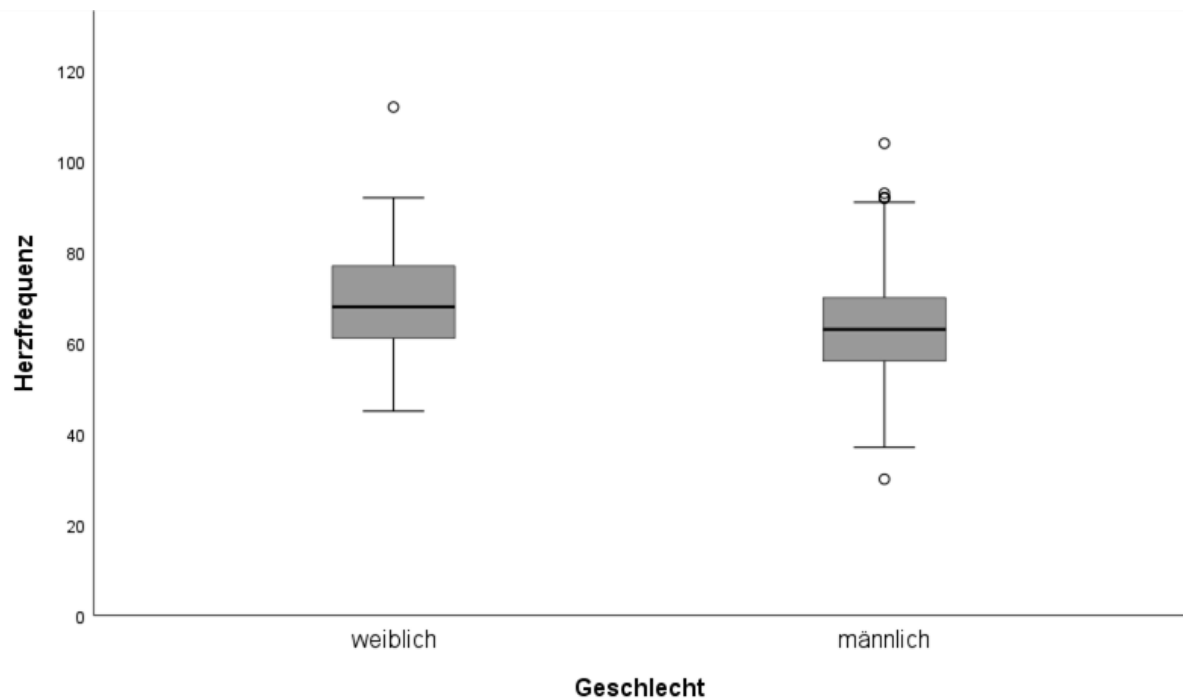
Auch das Alter zum Testzeitpunkt und die Herzfrequenz ($p=0,889$) wiesen in dieser Studie keinen statistisch signifikanten Zusammenhang auf.

Jedoch wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Herzfrequenz ($p=0,007$) gefunden.

ANOVA

		Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Sportkategorie	Zwischen den Gruppen	105,059	54	1,946	1,093	0,315
	Innerhalb der Gruppen	558,816	314	1,780		
	Gesamt	663,875	368			
Alter zum Testzeitpunkt	Zwischen den Gruppen	5640,562	54	104,455	0,760	0,889
	Innerhalb der Gruppen	43154,284	314	137,434		
	Gesamt	48794,846	368			
Geschlecht	Zwischen den Gruppen	116,340	54	0,303	1,616	0,007
	Innerhalb der Gruppen	58,782	314	0,187		
	Gesamt	75,122	386			

Tabelle 22: ANOVA der Herzfrequenz.



Grafik 2: Boxplot der Herzfrequenz (Schläge/min) und Geschlecht.

Die graphische Darstellung zeigt die Herzfrequenz im Vergleich zwischen Männern und Frauen. Die durchschnittliche Herzfrequenz der Männer ist etwas niedriger, erkennbar durch die Medianmarkierung. Bei den Frauen gibt es weniger Ausreißer. Der Interquartilsabstand, der die mittleren 50% der Daten repräsentiert, ist bei den männlichen Teilnehmer:innen schmaler und weniger breit gefächert. Dadurch kann angenommen werden, dass die Mehrheit der Werte in einem engeren Bereich liegt. Die längeren Whiskers der männlichen Box deutet auf eine höhere Streuung der Herzfrequenzwerte hin, was auch durch die Ausreißer bestätigt wird.

3.2.2 PQ-Zeit

Zwischen dem Alter zum Testzeitpunkt und der PQ-Zeit wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,038$) festgestellt.

Zwischen der Sportkategorie und der PQ-Zeit ($p=0,375$) und dem Geschlecht und der PQ-Zeit ($p=0,083$) waren keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zu erkennen.

ANOVA

		Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Sportkategorie	Zwischen den Gruppen	168,496	90	1,872	1,051	0,375
	Innerhalb der Gruppen	495,379	278	1,782		
	Gesamt	663,875	368			
Alter zum Testzeitpunkt	Zwischen den Gruppen	14773,367	90	154,149	1,341	0,038
	Innerhalb der Gruppen	34021,479	278	122,379		
	Gesamt	48794,846	368			
Geschlecht	Zwischen den Gruppen	21,730	90	0,241	1,257	0,083
	Innerhalb der Gruppen	53,392	278	0,192		
	Gesamt	75,122	368			

Tabelle 23: ANOVA der PQ-Zeit.

3.2.3 QRS-Zeit

Die ANOVA der Sportkategorie und der QRS-Zeit stellte keinen statistisch signifikanten Zusammenhang ($p=0,502$) fest.

Ein statistisch signifikanter Zusammenhang wurde zwischen dem Alter zum Testzeitpunkt und der QRS-Zeit ($p=0,006$) nachgewiesen.

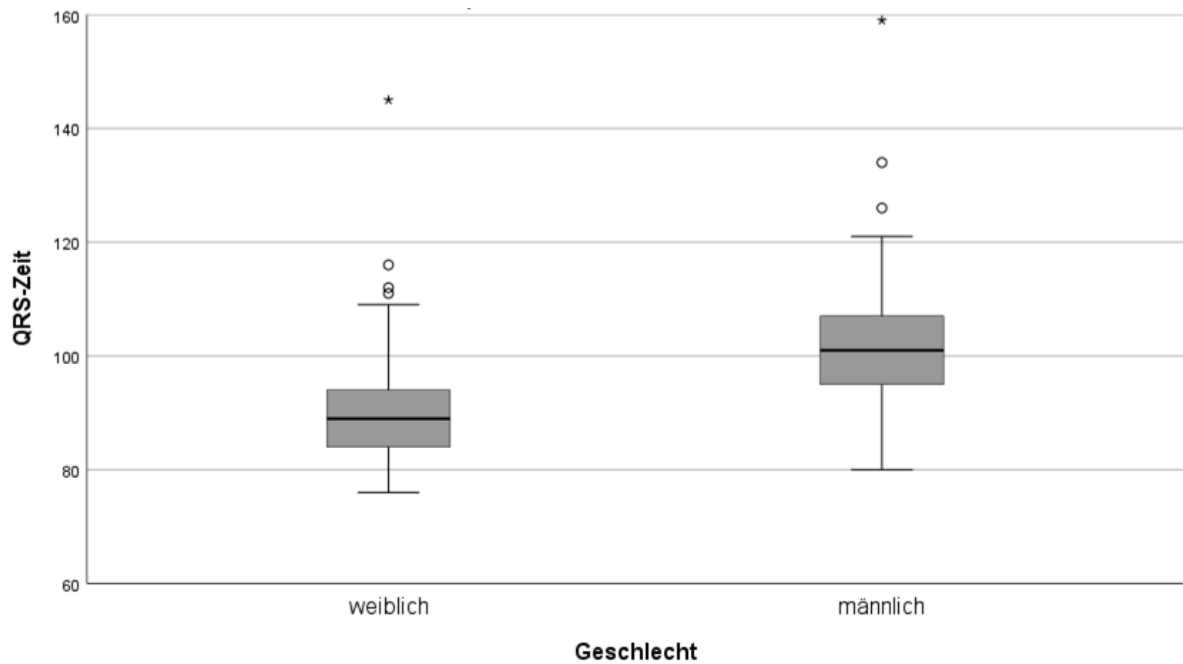
Auch zwischen dem Geschlecht und der QRS-Zeit konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,001$) nachgewiesen werden.

ANOVA

		Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Sportkategorie	Zwischen den Gruppen	85,620	48	1,784	0,987	0,502
	Innerhalb der Gruppen	578,255	320	1,807		
	Gesamt	663,875	368			
Alter zum Testzeitpunkt	Zwischen den Gruppen	9693,975	48	201,958	1,653	0,006
	Innerhalb der Gruppen	39100,871	320	122,190		
	Gesamt	48794,846	368			
Geschlecht	Zwischen den Gruppen	33,977	48	0,708	5,505	0,001
	Innerhalb der Gruppen	41,145	320	0,129		
	Gesamt	75,122	368			

Tabelle 24: ANOVA der QRS-Zeit.

Die gemessenen Daten weisen auf eine kürzere QRS-Zeit bei Frauen hin. Die nachstehende Grafik veranschaulicht, dass der Median der Frauen niedriger als der der Männer ist. Ausreißer nach oben hin gibt es bei beiden Geschlechtern. Bei den Frauen ist der untere Whisker kürzer als der obere. Das lässt auf eine asymmetrische Verteilung der Daten schließen, wobei die Werte unterhalb des Medians weniger weit gestreut sind.



Grafik 3: Boxplot der QRS-Zeit (ms) und Geschlecht.

3.2.4 QTc-Zeit

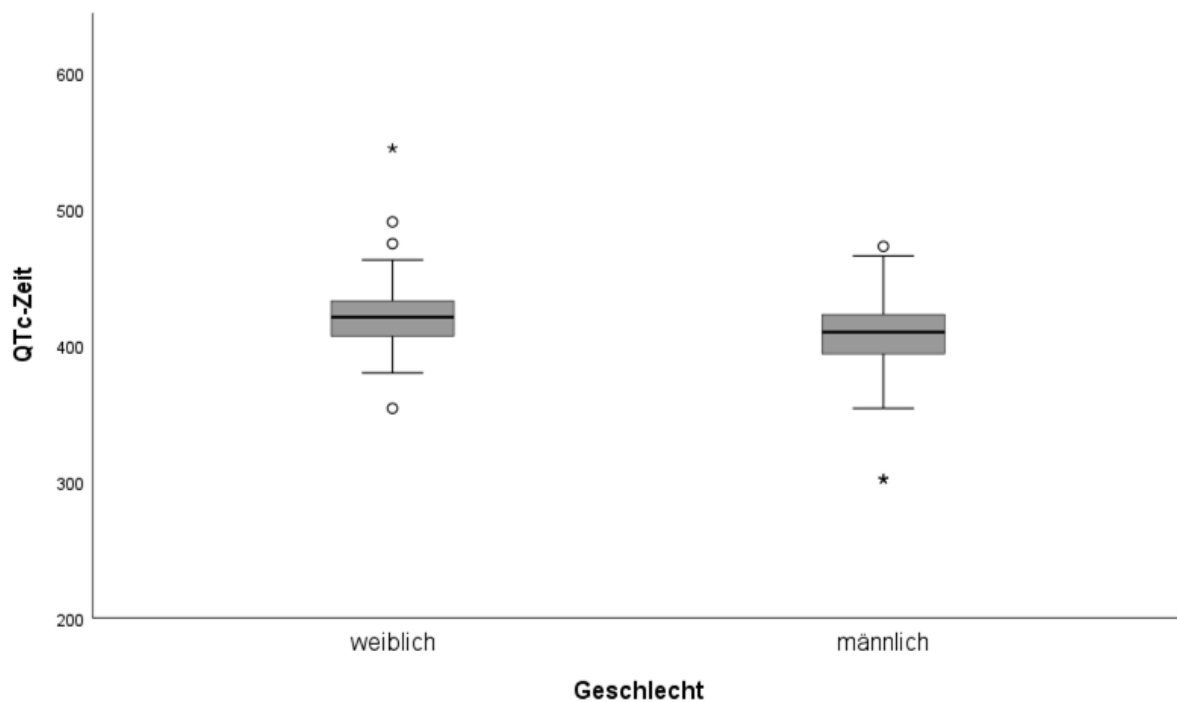
Zwischen der Sportkategorie und der QTc-Zeit wurde kein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,454$) festgestellt. Zwischen dem Alter zum Testzeitpunkt und der QTc-Zeit wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,016$) erkannt. Auch zwischen dem Geschlecht und der QTc-Zeit konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,018$) nachgewiesen werden.

ANOVA

		Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Sportkategorie	Zwischen den Gruppen	175,084	96	1,824	1,015	0,454
	Innerhalb der Gruppen	485,025	270	1,796		
	Gesamt	660,109	366			
Alter zum Testzeitpunkt	Zwischen den Gruppen	16326,152	96	170,064	1,418	0,016
	Innerhalb der Gruppen	32387,958	270	119,955		
	Gesamt	48714,110	366			
Geschlecht	Zwischen den Gruppen	24,965	96	0,260	1,404	0,018
	Innerhalb der Gruppen	49,994	270	0,185		
	Gesamt	74,959	366			

Tabelle 25: ANOVA der QTc-Zeit.

Bei der graphischen Darstellung der QTc-Zeit im Geschlechtervergleich wird deutlich, dass die Mediane annähernd gleich sind. Der Zentralwert bei den Frauen ist etwa höher. Des Weiteren fällt auf, dass der Interquartilsabstand bei beiden Geschlechtern ähnlich groß ist. Somit weisen die mittleren 50% der Werte eine ähnliche Streuung auf. Bei den Männern sind die Whisker des Boxplots etwas länger, was darauf hindeutet, dass es mehr Werte gibt, die weiter vom Median entfernt sind.



Grafik 4: Boxplot der QTc-Zeit (ms) und Geschlecht.

3.2.5 Modifizierte „Seattle-Kriterien“

Es wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,001$) zwischen der Sportkategorie und den modifizierten „Seattle-Kriterien“ gefunden. Auch das Alter zum Testzeitpunkt und die modifizierten „Seattle-Kriterien“ wiesen einen statistisch signifikanten Zusammenhang ($p=0,001$) auf. Zwischen dem Geschlecht und den modifizierten „Seattle-Kriterien“ konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,565$) festgestellt werden.

ANOVA

		Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Sportkategorie	Zwischen den Gruppen	28,404	2	14,204	8,181	0,001
	Innerhalb der Gruppen	635,467	366	1,736		
	Gesamt	663,875	368			
Alter zum Testzeitpunkt	Zwischen den Gruppen	2511,758	2	1255,879	9,931	0,001
	Innerhalb der Gruppen	46283,088	366	126,457		
	Gesamt	48794,846	368			
Geschlecht	Zwischen den Gruppen	0,234	2	0,117	0,572	0,565
	Innerhalb der Gruppen	74,888	366	0,205		
	Gesamt	75,122	368			

Tabelle 26: ANOVA der modifizierten „Seattle-Kriterien“.

4 Diskussion

Diese Masterarbeit verfolgt einerseits das Ziel, die Unterschiede sowie Zusammenhänge kardiologischer Parameter in Abhängigkeit von den Sportkategorien, dem Alter zum Zeitpunkt der Testung und dem Geschlecht zu untersuchen und zu analysieren. Andererseits soll die Relevanz der EKG-Diagnostik vor dem Eintritt in den Leistungs- und Wettkampfsport anhand der erhobenen Daten dargestellt werden.

Daher dienen die modifizierten „Seattle-Kriterien“ (die derzeit die genaueste Leitlinie zur Interpretation von Ruhe-EKGs bei Sportler:innen darstellen und daher essenziell für präventive medizinische Untersuchungen im Hobby- und Leistungssport sind) als Grundlage für diese Arbeit (Schindler & Schmied, 2016; Sharma et al., 2018).

Ein Schwerpunkt der Forschung liegt darin, signifikante Differenzen in den kardiologischen Parametern zwischen verschiedenen Sportkategorien sowie zwischen männlichen und weiblichen Athlet:innen zu identifizieren.

Ziel ist es, die Bedeutung regelmäßiger EKG-Untersuchungen im Wettkampfsport zu unterstreichen und das Bewusstsein für die Wichtigkeit solcher Untersuchungen zu schärfen.

Langfristig könnte die Implementierung verpflichtender Ruhe-EKG-Untersuchungen für alle Wettkampfsportler:innen in Österreich eine zentrale präventive Maßnahme darstellen. Da es in Österreich aktuell keine verpflichtenden EKG-Untersuchungen für Sporttauglichkeitsprüfungen gibt und Studien hierzu fehlen, legt diese Masterarbeit eine Grundlage für zukünftige Forschung zur systematischen Erfassung und Analyse von EKG-Auffälligkeiten bei österreichischen Sportler:innen vor.

4.1 Diskussion der Ruhe-Herzfrequenz-Ergebnisse

Die Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA) zeigen einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem Faktor "Geschlecht" und der Ruhe-Herzfrequenz ($p=0,007$). Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Herzfrequenz bei Männern mit durchschnittlich 64 Schlägen/min im geschlechtsspezifischen Vergleich niedriger ist als bei Frauen, die eine durchschnittliche Ruhe-Herzfrequenz von 69 Schlägen/min aufweisen. Diese Beobachtung wird auch durch die Studie von Hottenrott et al. (2020) unterstützt, die ebenfalls festgestellt hat, dass sportlich aktive Frauen eine höhere Ruhe-Herzfrequenz aufweisen.

Auch die von Raisi-Estabragh et al. (2020) durchgeführte Studie zeigt ähnliche Unterschiede bei Männern und Frauen.

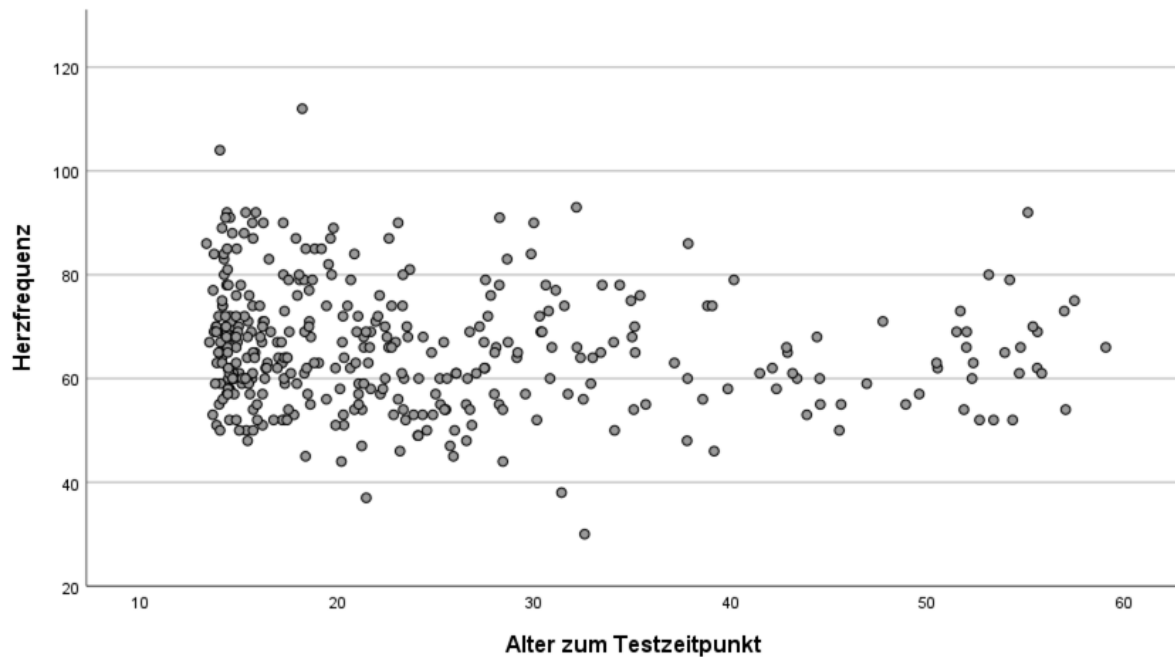
Diese Studie bestätigt auch, dass die Ruhe-Herzfrequenz ein unabhängiges Merkmal für die kardiovaskuläre (Gesamt-) Mortalität darstellt. Dies betont die Relevanz von frühzeitigen EKG-Untersuchungen bei Sportler:innen.

Pressler & Niebauer (2020) verdeutlichen in ihrem „Textbook of Sports and Exercise Cardiology“ einmal mehr die Wichtigkeit von frühzeitigen und regelmäßigen EKG-Untersuchungen, um Herz-Kreislauf-Erkrankungen frühzeitig zu erkennen und so das Risiko von plötzlichen Herztoden im Sport zu reduzieren.

Dieser geschlechtsspezifische Trend setzt sich auch im Altersvergleich fort. Allerdings gibt es hier durch die Varianzanalyse keinen statistisch signifikanten Zusammenhang.

Die Ruhe-Herzfrequenz der männlichen Probanden ist sowohl in der Gruppe der über 18-Jährigen als auch in der Gruppe der unter 18-Jährigen niedriger. Zudem lässt sich feststellen, dass in beiden Geschlechtergruppen, die über 18-Jährigen eine geringere Ruhe-Herzfrequenz aufweisen als die unter 18-Jährigen. In einer von Tanaka et al. (2001) durchgeführten Untersuchung stand die Herzfrequenz in einer starken Beziehung zum Alter. Mit zunehmendem Alter sanken die Ruhe-Herzfrequenz und damit auch die maximale Herzfrequenz. Vergleicht man das Kollektiv der vorliegenden Masterarbeit (369 Personen) mit der Stichprobe von Tanaka et al. (18.712 Personen), so wird aufgrund der kleineren Stichprobengröße und der damit einhergehenden geringeren statistischen Power die Identifikation eines echten Effekts oder eines statistisch signifikanten Zusammenhangs erschwert. Das könnte einen Grund darstellen, warum durch die Varianzanalyse kein statistisch signifikanter Zusammenhang erkannt wurde.

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht die ungleiche Altersverteilung der Teilnehmenden in Bezug auf die Ruhe-Herzfrequenz. Ein großer Anteil der Stichprobe besteht aus Personen unter 25 Jahren. Dies führt zu einer ungleichen Verteilung des Gesamtkollektivs. Diese Ungleichverteilung kann die statistischen Analysen verzerren, indem sie die Erkennung von Zusammenhängen und Unterschieden erschwert und die Aussagekraft der Ergebnisse beeinträchtigt.



Grafik 5: Streudiagramm zur Darstellung der ungleichen Verteilung des Gesamtkollektivs.

Die Untersuchung von Wang et al. (2014) bestätigt, dass die Ruhe-Herzfrequenz mit zunehmendem Alter signifikant abnimmt. Die Autoren stellten darüber hinaus fest, dass eine erhöhte Ruhe-Herzfrequenz mit einem erhöhten Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen assoziiert ist. Diese Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der Ruhe-Herzfrequenz als prädiktiven Marker für kardiovaskuläre Risikofaktoren, insbesondere im höheren Lebensalter. Zusätzlich zeigt die Studie, dass regelmäßige körperliche Aktivität einen modifizierenden Einfluss auf den altersbedingten Rückgang der Ruhe-Herzfrequenz haben kann. Das deutet darauf hin, dass körperliche Aktivität eine präventive Rolle hinsichtlich der kardiovaskulären Gesundheit spielt.

Die Varianzanalyse der Sportkategorie in Bezug auf die Herzfrequenz zeigt, dass es keinen signifikanten statistischen Zusammenhang gibt. Die Ausdauer- und Kraftsportler:innen weisen die niedrigste Ruhe-Herzfrequenz in beiden Altersgruppen auf. Die höchsten Ruhe-Herzfrequenz-Werte haben die „Skill“-Sportler:innen.

Pressler und Niebauer (2020) betonen, dass die Sportart einen signifikanten Einfluss auf die Ruhe-Herzfrequenz hat. Insbesondere Ausdauersportarten, wie Laufen oder Radfahren, führen zu einer deutlich reduzierten Ruhe-Herzfrequenz. Dies wird auf die erhöhte parasympathische Aktivität und die verbesserte Effizienz des Herz-Kreislauf-Systems bei regelmäßiger Ausdauerbelastung zurückgeführt.

Kraftsportler:innen hingegen erfahren ebenfalls eine Senkung der Ruhe-Herzfrequenz durch Training, jedoch ist dieser Effekt weniger ausgeprägt als bei Ausdauersportler:innen. Die geringere Senkung bei Kraftsportler:innen lässt sich durch die unterschiedlichen physiologischen Anpassungen erklären, die primär das Muskel- und nicht das Herz-Kreislauf-System betreffen (Pressler & Niebauer, 2020).

Auch die regelmäßige Ausübung von Teamsportarten, wie Fußball, Basketball oder Handball, zeigen positive Effekte für die Ruhe-Herzfrequenz. Dabei weisen Teamsportarten in der Regel eine variable Ruhe-Herzfrequenz auf, die oft zwischen der von Ausdauersportler:innen und Kraftsportler:innen liegt. Teamsportler:innen, die eine Kombination aus Ausdauer- und Kraftanforderungen erfahren, liegen mit ihrer Ruhe-Herzfrequenz oft zwischen diesen beiden Gruppen, da ihre Trainingsintensitäten und -anforderungen variieren (Oja, et al., 2024).

Betrachtet man das gesamte Studienkollektiv, so zeigt sich, dass fünf Teilnehmende eine Ruhe-Herzfrequenz über 90 Schlägen pro Minute aufwiesen. Dieser Wert überschreitet die in der aktuellen Forschungsliteratur definierte Obergrenze und könnte potenziell auf abweichende kardiologische Belastungen oder Risikofaktoren hinweisen.

Die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführte Studie hat im Hinblick auf die Ruhe-Herzfrequenz nicht vollständig die erwarteten Ergebnisse erbracht. Insbesondere der erhoffte Einfluss der Wahl der Sportart auf die Ruhe-Herzfrequenz konnte in den vorliegenden Daten nicht eindeutig nachgewiesen werden. Während die Literatur darauf hinweist, dass verschiedene Sportarten unterschiedliche Auswirkungen auf kardiovaskuläre Parameter, einschließlich der Ruhe-Herzfrequenz, haben können (siehe beispielsweise Sharma et al., 2018), blieben die Ergebnisse dieser Untersuchung hinter diesen theoretischen Erwartungen zurück.

4.2 Diskussion der PQ-Zeit-Ergebnisse

Die Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA) der PQ-Zeit zeigen Folgendes: Es wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter der Proband:innen zum Testzeitpunkt und der PQ-Zeit festgestellt ($p=0,375$). Hingegen konnte weder zwischen der Sportkategorie und der PQ-Zeit ($p=0,375$) noch zwischen dem Geschlecht und der PQ-Zeit ($p=0,083$) ein statistisch signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Alter einen Einfluss auf die PQ-Zeit haben könnte, während die Sportkategorie und das Geschlecht keine signifikanten Effekte auf diesen Parameter zeigen.

Die Dauer der PQ-Zeit sollte zwischen 0,12-0,21 Sekunden (120-200 ms) betragen. Die zeitliche Dauer kann bei den Männern im Durchschnitt etwas länger sein (Cook-Sup So, 2013; Magnani et al., 2013).

Die Ergebnisse der Studie für die Masterarbeit zeigen, dass die PQ-Zeit sowohl bei den unter als auch über 18-jährigen Teilnehmerinnen niedriger war als bei den männlichen Teilnehmern.

Auch die Studie von Aro et al. (2014) bestätigt, dass das Alter einen signifikanten Einfluss auf die PQ-Zeit hat. Mit zunehmendem Alter wird eine zeitliche Verlängerung des PQ-Intervalls als normal angesehen.

Ein PQ-Intervall von über 200 ms wird als pathologisch eingestuft und erfordert daher weiterführende diagnostische Abklärungen. Studien zeigen, dass eine verlängerte PQ-Zeit ein starker Prädiktor für das Auftreten schwerwiegender kardiovaskulärer Ereignisse wie Schlaganfälle und Myokardinfarkte ist (Chan et al., 2017).

Die PQ-Zeit kann, wie von Yanık et al. (2021) beschrieben, durch die Art der ausgeübten Sportart beeinflusst werden. Insbesondere Ausdauersportarten wie Laufen oder Radfahren führen aufgrund der trainingsbedingten kardiovaskulären Anpassungen zu einer leichten Verlängerung des PQ-Intervalls. Diese Anpassungen äußern sich häufig in einer reduzierten Herzfrequenz, was zu einer langsameren Überleitung des Sinusknotenreizes führt. Im Gegensatz dazu zeigen Sportarten mit intermittierender hoher Intensität, wie Fußball oder Basketball, einen geringeren Einfluss auf die PQ-Zeit, da diese Aktivitäten weniger starke chronotrope Effekte auf das Herz-Kreislauf-System haben (Yanık et al., 2021).

In der im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Studie wurde eine ungleiche Verteilung der Teilnehmer:innen auf die vier untersuchten Sportkategorien festgestellt (siehe Grafik 1). Insbesondere sind die Sportkategorien Ausdauer und Kraft überrepräsentiert, was potenziell zu einer Verzerrung der Durchschnittswerte führen kann.

Die Ausdauersportler:innen wiesen die höchste durchschnittliche PQ-Zeit von 149 ms auf, während die „Skill“-Sportler:innen die niedrigste durchschnittliche PQ-Zeit von 139 ms hatten.

Diese Ungleichverteilung könnte die Validität der Ergebnisse beeinflussen und die Interpretation der Daten erschweren, da signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen möglicherweise nicht ausschließlich auf die Sportart, sondern auch auf die ungleiche Teilnehmer:innenverteilung zurückzuführen sind.

Das Geschlecht hat Einfluss auf die Dauer der PQ-Zeit. Frauen weisen tendenziell kürzere PQ-Zeiten auf als Männer. Die Gründe liegen in der Herzgröße und den hormonellen Faktoren (Ahmadi et al., 2023b).

Auch Soreca et al. (2020) stellen in ihrer Studie fest, dass das PR-Intervall bei Frauen im Vergleich zu Männern tendenziell kürzer ist. Dieser geschlechtsspezifische Unterschied muss vor dem Hintergrund des kardiovaskulären Risikos sorgfältig überwacht werden, da eine Verlängerung des PR-Intervalls ein Indikator für bestimmte kardiale Pathologien sein kann.

Im Studienkollektiv überschritten drei Personen die Obergrenze der PQ-Zeit von 200 ms, während bei 17 Teilnehmenden Werte unter dem Normbereich von 120 ms gemessen wurden. Nicht zu vernachlässigen ist, dass ein großer Teil der Studienteilnehmenden unter 18 Jahre alt war. Aufgrund der physiologischen Entwicklung bei Kindern und Jugendlichen sind altersangepasste Referenzwerte erforderlich, um kardiologische Parameter wie die PQ-Zeit präzise zu bewerten. Dies ist besonders relevant, da die Standardwerte, die für Erwachsene gelten, bei Jüngeren abweichen können und so möglicherweise zu Fehlinterpretationen führen könnten.

4.3 Diskussion der QRS-Zeit-Ergebnisse

Die Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA) zeigen, dass es keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Sportkategorie und der QRS-Zeit ($p=0,502$) gibt. Zwischen dem Alter zum Testzeitpunkt und der QRS-Zeit ($p=0,006$) und zwischen dem Geschlecht und der QRS-Zeit ($p=0,001$) wurden statistisch signifikante Zusammenhänge erkannt.

Bereits Drezner et al. (2013) konnten zeigen, dass die Art der sportlichen Betätigung einen signifikanten Einfluss auf die Dauer des QRS-Komplexes hat. Insbesondere Ausdauersportler:innen weisen im Vergleich zu Kraftsportler:innen oder Athlet:innen aus Sportsportarten eine leicht verlängerte QRS-Dauer auf. Diese Verlängerung ist auf die physiologische Anpassung des Herzmuskels an die regelmäßige, intensive Belastung zurückzuführen. Dennoch ist eine sorgfältige Beobachtung dieser Veränderungen erforderlich, um physiologische von pathologischen Veränderungen zu unterscheiden und potenzielle kardiale Erkrankungen auszuschließen.

In der im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Studie betrugen die durchschnittliche QRS-Dauer bei Kraft- und Ausdauersportler:innen jeweils 99 ms. Athlet:innen in den Kategorien „Skill“ (96 ms) und Sportsport (97 ms) wiesen niedrigere Werte auf. Bei den Ausdauersportler:innen könnte der leicht erhöhte Wert auf die Stichprobengröße

und die damit verbundene höhere SD zurückzuführen sein. Der beobachtete Trend bei Kraft- und Sportsportler:innen stimmt mit den Ergebnissen früherer Studien überein. Der etwas niedrigere Wert bei den „Skill“-Sportler:innen kann auf die geringe Anzahl der teilnehmenden Personen zurückgeführt werden.

Es konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter zum Testzeitpunkt und der QRS-Zeit festgestellt werden. Der durchschnittliche QRS-Wert bei Personen unter 18 Jahren lag bei 94 ms und war damit kürzer als bei Personen über 18 Jahren, deren Durchschnittswert bei 144 ms lag. Diese Ergebnisse stehen in Abstimmung mit den Befunden von Macfarlane (2018), der in seiner Studie ebenfalls darlegt, dass die QRS-Dauer bei Kindern und Jugendlichen typischerweise kürzer ist und mit zunehmendem Alter ansteigt. Diese Verlängerung ist häufig auf strukturelle Veränderungen des Herzens zurückzuführen, die entweder durch körperliche Aktivität oder durch altersbedingte Anpassungen bedingt sind.

Es konnte auch ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der QRS-Dauer festgestellt werden. Während die QRS-Werte von männlichen und weiblichen Personen unter 18 Jahren relativ nahe beieinander lagen, zeigten sich bei den über 18-Jährigen deutlichere Unterschiede. Im Durchschnitt wiesen die männlichen Probanden mit 101 ms längere QRS-Zeiten auf als die weiblichen Probandinnen, deren durchschnittlicher Wert bei 90 ms lag.

Auch Macfarlane (2018) bestätigt, dass ein Geschlechtsunterschied besteht. Während in der Kindheit nur geringe Geschlechtsunterschiede in Bezug auf die QRS-Dauer bestehen, wurde festgestellt, dass diese Unterschiede in der Adoleszenz und im Erwachsenenalter ausgeprägter werden, wobei Männer tendenziell längere QRS-Dauern aufweisen. Im Erwachsenenalter sind die Geschlechtsunterschiede in der QRS-Zeit in der Altersgruppe unter 40 Jahren am ausgeprägtesten. Mit zunehmendem Alter nimmt der Unterschied tendenziell ab.

Auch Zhou et al. (2021) haben herausgefunden, dass die QRS-Zeit bei Männern signifikant länger ist als bei Frauen. Die Studie führt dies auf physische Unterschiede in der Herzgröße und -struktur sowie geschlechtsspezifische Unterschiede in der elektrischen Aktivität des Herzens. Männer haben tendenziell größere Herzkammern, was zu längeren QRS-Zeiten führen kann.

Innerhalb der Studienpopulation überschritten 13 Personen den in der aktuellen Forschung festgelegten Grenzwert für die QRS-Dauer von 111 ms. Eine verlängerte QRS-Dauer kann ein Risiko für kardiale Komplikationen darstellen, da sie oft auf eine Störung in der Erregungsleitung des Herzens hinweist (Horacek, 2018).

4.4 Diskussion der QTc-Zeit-Ergebnisse

Die Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA) zeigen, dass es keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Sportkategorie und der QTc-Zeit ($p=0,454$) gibt. Zwischen dem Alter zum Testzeitpunkt und der QTc-Zeit wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,016$) erkannt. Auch zwischen dem Geschlecht und der QTc-Zeit konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,018$) nachgewiesen werden.

Laut Ritt et al. (2022) besteht ein Zusammenhang zwischen der Sportkategorie und der QTc-Zeit. Intensive körperliche Aktivität kann die QTc-Zeit beeinflussen, indem diese während der Anstrengung verkürzt und in Ruhephasen verlängert wird. Diese wird durch physiologische Anpassungen des Herzens erklärt. Die Reaktion der QT-Zeit auf Bewegung hängt von individuellen Faktoren, wie der Anfälligkeit für Erkrankungen wie dem Long-QT-Syndrom, ab. Daher sollten Athlet:innen mit Herzproblemen individuell bewertet und überwacht werden, um eine sichere Teilnahme an sportlichen Aktivitäten zu gewährleisten.

Betrachtet man die Ergebnisse der Studie für diese Masterarbeit, so zeigt sich, dass die durchschnittlichen QTc-Zeiten bei den vier Sportkategorien annähernd ähnlich sind. Dies lässt darauf schließen, dass unterschiedliche Belastungs- und Sportarten eine vergleichbare Anpassung des Herzens bewirken. (Regelmäßiges) Training kann somit eine schützende Wirkung auf die kardiale Gesundheit haben.

Zwischen dem Alter zum Testzeitpunkt und der QTc-Zeit wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang festgestellt. Die QTc-Zeit der unter 18-Jährigen war im Schnitt mit 417 ms etwas höher als die der über 18-Jährigen mit 414 ms.

Die vorliegende Masterarbeit zeigt, dass Männer im Durchschnitt eine höhere QTc-Zeit aufweisen. Auch aus Studien geht hervor, dass im Kindesalter Jungen tendenziell kürzere QTc-Zeiten aufweisen, die sich jedoch mit der Pubertät verändern. Nach der Pubertät haben Männer in der Regel längere QTc-Zeiten, während Frauen in diesem Lebensabschnitt kürzere Werte zeigen. Mit zunehmendem Alter nähern sich die QTc-Werte der beiden Geschlechter jedoch an, da der Testosteronspiegel bei Männern zu sinken beginnt und die QTc-Zeiten bei Frauen im Allgemeinen nach der Menopause ansteigt. Ein weiterer Einflussfaktor auf die QTc-Zeiten bei Frauen ist der höhere Östrogenspiegel, der in bestimmten Lebensphasen eine bedeutende Rolle spielt. Östrogen hat nachweislich Auswirkungen auf die elektrophysiologischen Eigenschaften des Herzens und kann zu kürzeren QTc-Intervallen führen, insbesondere in der prämenopausalen Phase (Vink et al., 2018).

Diese Erkenntnisse unterstreichen einmal mehr die Notwendigkeit, geschlechtsspezifische und altersabhängige Faktoren bei der Beurteilung der QTc-Zeit zu berücksichtigen.

Zwischen dem Geschlecht und der QTc-Zeit wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang festgestellt. Nach Jeyaprakash et al. (2016) wiesen Frauen, wenn die Herzfrequenz unter 110 Schlägen/min betrug, längere QTc-Zeiten als Männer auf. Bei einer Herzfrequenz darüber, wurden keine signifikanten Geschlechterunterschiede festgestellt. Die Daten der Studie für die Masterarbeit zeigen, dass die männlichen Teilnehmer im Durchschnitt kürzere QTc-Zeiten (410 ms) im Vergleich zu den weiblichen Teilnehmerinnen (422 ms) haben.

Generell zeigt sich, dass Frauen im Ruhezustand eine längere QTc-Zeit aufweisen als Männer, jedoch adaptieren sie sich besser an Veränderungen während des Trainings und in der Erholungsphase (Jeyaprakash et al., 2016).

Innerhalb der Studienpopulation überschritten acht Personen den in der aktuellen Forschung festgelegten Grenzwert von 460 ms für die QTc-Zeit. Eine verlängerte QTc-Zeit ist klinisch bedeutsam, da sie auf eine verlängerte Reizleitung hinweisen kann (Trautwein, 2022).

4.5 Diskussion der Ergebnisse der modifizierten „Seattle-Kriterien“

Es wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,001$) zwischen der Sportkategorie und den modifizierten „Seattle-Kriterien“ nachgewiesen. Auch zwischen dem Alter zum Testzeitpunkt und den modifizierten „Seattle-Kriterien“ wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,001$) festgestellt. Zwischen dem Geschlecht und den modifizierten „Seattle-Kriterien“ konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p=0,565$) festgestellt werden.

Sportarten mit intensiver Ausdauerbelastung, wie Laufen oder Sportsportarten, führen häufig zu spezifischen EKG-Veränderungen. Diese Anpassungen werden durch die modifizierten „Seattle-Kriterien“ typischerweise als normale Veränderungen betrachtet, solange sie im erwarteten Bereich für gesunde Athlet:innen liegen. Bei Kraftsportarten, die eher auf kurzen, intensiven Belastungen basieren, sind die EKG-Veränderungen hingegen oft geringer ausgeprägt, was die Abgrenzung zu pathologischen Befunden erleichtert. Somit kann auch aus Sicht der aktuellen wissenschaftlichen Studien betont werden, dass die Sportkategorie einen Einfluss auf die Interpretation der modifizierten „Seattle-Kriterien“ hat (Drezner et al., 2017).

Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass die vier analysierten Sportkategorien die Anwendung und Interpretation der modifizierten „Seattle-Kriterien“ signifikant beeinflussen. Die Kriterien scheinen je nach Sportart spezifische Anpassungen zu erfordern, um zwischen physiologischen und möglichen pathologischen EKG-Veränderungen bei Athlet:innen präzise zu differenzieren. Da jede Sportkategorie spezifische Belastungsmuster und Intensitäten aufweist, die sich auf das kardiovaskuläre System unterschiedlich auswirken, ergeben sich Variationen in den EKG-Parametern der Athlet:innen.

Daher wird deutlich, dass eine differenzierte Betrachtung der Sportkategorien zur genaueren Interpretation von EKG-Befunden notwendig ist, um sowohl die Genauigkeit der Diagnosen als auch die Sicherheit der sportmedizinischen Vorsorge zu verbessern. Diese Erkenntnisse unterstützen die Weiterentwicklung der aktuellen Forschung für eine gezieltere Anwendung im sportartspezifischen Kontext.

Das Alter eines Sportausübenden beeinflusst die Interpretation des EKGs auf Grundlage der modifizierten „Seattle Kriterien“ entscheidend. Je nachdem, ob eine Person über oder unter 18 Jahre alt ist, werden die entsprechenden Kriterien angewendet (siehe Abbildung 2 und 3). Einmal mehr wird auf die Wichtigkeit der differenzierten Beobachtung hingewiesen.

Bei jungen Sportler:innen ist es wichtig hervorzuheben, dass die körperliche Reifung mit wesentlichen Anpassungen im Herz-Kreislauf-System verbunden ist. Während des Wachstumsprozesses verändern sich sowohl die Herzgröße als auch die Struktur und Funktion der Herzmuskulatur, um den Anforderungen eines sich entwickelnden Körpers gerecht zu werden. Diese natürlichen Veränderungen wirken sich auch auf die EKG-Darstellung aus und sollten bei der Interpretation der modifizierten „Seattle-Kriterien“ berücksichtigt werden. Der Prozess der Anpassungen bedeutet, dass nicht nur anatomische, sondern auch durch das Training bedingte Veränderungen am EKG wahrgenommen werden können. Diese, in jungen Jahren als physiologische Reaktion auf sportliche Belastung wahrgenommen Strukturen, könnte in späteren Jahren möglicherweise andere EKG-Muster erzeugen (Sharma et al., 2018; Ragazzoni et al., 2023).

Da jugendliche Sportler:innen sich oft noch im körperlichen und kardiologischen Reifungsprozess befinden, müssen sportmedizinische Untersuchungen auf diese Altersgruppe zugeschnitten sein, um eine präzise Abgrenzung zwischen normalen altersbedingten Anpassungen und potenziellen Auffälligkeiten zu gewährleisten (Ragazzoni et al., 2023).

Bei älteren Sportler:innen treten häufiger altersbedingte strukturelle und elektrische Veränderungen auf, die nicht unbedingt mit dem Training zusammenhängen. Somit erfordern die modifizierten „Seattle-Kriterien“ altersbezogene Anpassungen, um eine präzise

Interpretation bei älteren Sportlerinnen zu gewährleisten (Drezner et al., 2017; Ragazzoni et al., 2023).

Die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführte Studie ergab keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und den modifizierten „Seattle-Kriterien“.

Jeyaparakash et al. (2016) erwähnen, dass Männer und Frauen teilweise unterschiedliche EKG-Muster aufgrund biologischer und hormoneller Faktoren aufweisen. Allerdings werden diese Faktoren von den modifizierten „Seattle-Kriterien“ nicht berücksichtigt. Eine Anpassung dieser Richtlinien wäre sinnvoll, um die Besonderheiten der EKG-Veränderungen bei Sportausübenden genauer zu berücksichtigen.

Auch Bradley Petek (2018) betont in seiner Analyse, dass Sportlerinnen aufgrund hormoneller, körperlicher und metabolischer Unterschiede ein spezifisches kardiales Profil aufweisen. Diese Faktoren beeinflussen die EKG-Interpretation, weshalb die modifizierten „Seattle-Kriterien“ geschlechtsspezifisch angepasst werden sollten, um falsch-positive Befunde zu minimieren und eine präzise Risikobewertung zu ermöglichen.

4.6 Limitationen

Diese Studie weist mehrere Limitationen auf, die die Generalisierbarkeit der Ergebnisse beeinflussen könnten. Zum einen ist die Stichprobengröße mit 369 Proband:innen im Vergleich zu anderen Studien kleiner, was die statistische Power mindert und somit die Erkennung signifikanter Zusammenhänge erschwert.

Zudem wies die Stichprobe eine ungleiche Altersverteilung auf, die potenziell zu Verzerrungen der Ergebnisse führen könnte (siehe Grafik 5). Ein großer Anteil der Teilnehmenden war zum Erhebungszeitpunkt unter 25 Jahren, wodurch jüngere Personen in der Stichprobe überrepräsentiert waren.

Außerdem sollte auf die deutliche Überrepräsentation männlicher Teilnehmer hingewiesen werden. Dieses Ungleichgewicht könnte die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränken, insbesondere bei Aspekten, bei denen geschlechtsspezifische Unterschiede in physiologischen oder sportlichen Parametern relevant sind. Da Männer und Frauen unterschiedliche Herz-Kreislauf-Anpassungen und physiologische Reaktionen auf Sportbelastungen zeigen können, könnten wichtige Variablen oder Effekte bei Frauen in dieser Studie unterrepräsentiert oder nicht ausreichend abgebildet sein.

Ebenso war die Verteilung auf die Sportkategorien nicht gleichmäßig, was besonders in der Kategorie „Skill“ und „Kraft“ die Aussagekraft beeinträchtigen könnte. Schließlich ist die

Studie aufgrund ihres Querschnittsdesigns nur begrenzt in der Lage, kausale Zusammenhänge zwischen den kardiologischen Parametern und den untersuchten Faktoren zu ermitteln. Somit könnten mögliche Erklärungen für das Ausbleiben signifikanter Unterschiede methodische Limitierungen sein.

Die Variabilität der Trainingsintensitäten und Häufigkeit haben Einfluss auf die Entwicklung des Herzens. Es wurde nicht erfasst, wie viele Trainingsstunden die Teilnehmenden pro Woche absolvierten. Dies könnte die Analyse der Daten beeinflussen, da die Trainingsbelastung wesentlichen Einfluss auf die physiologischen Anpassungen und Gesundheitsparameter hat. Zusätzlich könnten Unterschiede innerhalb der untersuchten Sportarten sowie externe Faktoren wie Stress oder Schlafgewohnheiten die Herzfrequenz beeinflussen, unabhängig von der sportlichen Aktivität (Kellmann et al., 2018). Darüber hinaus könnten individuelle Unterschiede in der Anpassungsfähigkeit des kardiovaskulären Systems eine Rolle spielen, die durch Faktoren wie Alter, Geschlecht und Fitnesszustand moduliert werden (Zhao et al., 2014).

Die Messung der Ruhe-Herzfrequenz jeder teilnehmenden Person könnte durch verschiedene externe Einflüsse beeinträchtigt worden sein. So kann die Ruhe-Herzfrequenz am Morgen durch nervositäts- oder stressbedingte Faktoren erhöht sein. Darüber hinaus kann auch die Schlafqualität eine Rolle spielen und die Herzfrequenz beeinflussen (Mancia et al., 2013).

Eine weitere Limitation dieser Studie liegt in der mangelnden Berücksichtigung geschlechterspezifischer Unterschiede bei der Anwendung der modifizierten „Seattle-Kriterien“ zur EKG-Beurteilung. Obwohl bereits mehrere Studien darauf hinweisen, dass eine geschlechterdifferenzierte Anpassung dieser Kriterien die diagnostische Genauigkeit verbessern und Fehldiagnosen reduzieren könnte, insbesondere im Hinblick auf die Früherkennung kardiovaskulärer Risiken bei weiblichen Sportlerinnen, wurde dieser Aspekt in der vorliegenden Untersuchung nicht systematisch integriert (Bradley Petek, 2018).

In Anbetracht der potenziellen Bedeutung geschlechtsspezifischer Unterschiede für die präzise Beurteilung von EKG-Veränderungen ergibt sich hier ein wichtiger Forschungsbedarf. Für zukünftige Arbeiten wäre es daher sinnvoll, eine geschlechterdifferenzierte Analyse der modifizierten „Seattle-Kriterien“ zu berücksichtigen, um deren Validität und Anwendung weiter zu optimieren.

Trotz dieser Einschränkungen liefert die Studie wertvolle Einblicke und deutet darauf hin, dass eine differenzierte Betrachtung der Sportarten und Trainingsmethoden erforderlich ist, um ihren Einfluss auf die Ruhe-Herzfrequenz und andere kardiovaskuläre Marker genauer zu verstehen. Zukünftige Forschungen sollten daher eine größere Stichprobe sowie eine

genauere Kontrolle der Einflussfaktoren berücksichtigen, um die Wechselwirkungen zwischen Sportartenwahl und kardiovaskulären Parametern besser zu erfassen.

4.7 Schlussfolgerung

Diese Masterarbeit untermauert, dass die modifizierten „Seattle-Kriterien“ eine hilfreiche und praxistaugliche Grundlage zur Auswertung von Ruhe-EKGs bei Sportler:innen bieten, insbesondere in Bezug auf die präventive Diagnostik im Leistungssport. Die Ergebnisse weisen deutlich darauf hin, dass die Parameter der Ruhe-Herzfrequenz, PQ-Zeit, QRS-Zeit und QTc-Zeit – oft als aussagekräftige Indikatoren für kardiale Anpassungen bei Sportler:innen verwendet – geschlechtsspezifischen und altersabhängigen Variationen unterliegen.

So wurde zum Beispiel beobachtet, dass Athleten signifikant niedrigere Ruhe-Herzfrequenzen aufweisen als ihre Kolleginnen. Zudem beeinflussen verschiedene Sportkategorien spezifische EKG-Werte auf bestimmte Weise: So zeigen Ausdauersportarten stärkere Anpassungen in der Herzfrequenz und der PQ-Zeit. Diese Erkenntnisse verdeutlichen die Notwendigkeit einer geschlechts-, alters- und sportartspezifischen Auswertung von EKG-Befunden, um präzise diagnostische und präventive Maßnahmen zu fördern.

Insgesamt unterstreicht die Studie das Potenzial einer differenzierten Betrachtung von Ruhe-EKG-Daten zur Minimierung kardialer Risiken und zur Optimierung der Gesundheitsvorsorge im Hochleistungssport.

Diese Masterarbeit zeigt weiters, dass die modifizierten „Seattle-Kriterien“ eine wertvolle Grundlage zur Interpretation von Ruhe-EKGs bei Sportler:innen darstellen, insbesondere im Rahmen präventiver medizinischer Untersuchungen im Leistungssport. Die Ergebnisse bestätigen die Relevanz spezifischer kardiologischer Parameter, insbesondere der Ruhe-Herzfrequenz, der PQ-Zeit, der QRS-Zeit und der QTc-Zeit, deren Werte sich in Abhängigkeit von Geschlecht, Alter und Sportkategorie unterscheiden. Beispielsweise weisen männliche Sportler signifikant niedrigere Ruhe-Herzfrequenzen auf als weibliche, und Personen über 18 Jahre zeigen im Durchschnitt niedrigere Ruhe-Herzfrequenzen als jüngere Proband:innen. Die Sportkategorie beeinflusst die Ruhe-Herzfrequenz und PQ-Zeit teils erheblich, wobei insbesondere Ausdauersportarten mit ausgeprägten Anpassungen einhergehen. Zusammenfassend unterstützt die Studie die Notwendigkeit einer differenzierten, sportartspezifischen Betrachtung von EKG-Befunden, um das Risiko für kardiale Ereignisse frühzeitig zu erkennen und die sportmedizinische Vorsorge gezielter zu gestalten.

Angesichts der Bedeutung der Ruhe-EKG-Untersuchungen für die kardiovaskuläre Prävention im Leistungssport wäre es wünschenswert, die modifizierten „Seattle-Kriterien“ und deren sportartspezifische Interpretation künftig verpflichtend in die sportmedizinischen Routineuntersuchungen in Österreich zu integrieren und so für Hobbysportler:innen einen einfachen Zugang zu ermöglichen. Die Implementierung solcher Untersuchungen als Standard könnte das Risiko für schwerwiegende kardiale Ereignisse im Sport deutlich verringern und zu einer verbesserten Vorsorge beitragen.

Zukünftig könnte die Einführung der modifizierten „Seattle-Kriterien“ als verpflichtender Standard in die Routineuntersuchungen von Leistungssportler:innen in Österreich einen wesentlichen Fortschritt für die Sportmedizin und die präventive Gesundheitsversorgung im Sport darstellen. Eine solche Initiative würde nicht nur eine einheitliche und zielgerichtete Auswertung von EKG-Ergebnissen ermöglichen, sondern könnte auch dazu beitragen, das Risiko schwerwiegender kardialer Ereignisse bei Sportler:innen zu reduzieren. Durch die Anwendung dieser Kriterien könnten medizinische Fachkräfte besser zwischen physiologischen Anpassungen und potenziell pathologischen Befunden unterscheiden, wodurch eine verbesserte Risikoeinschätzung und gezielte Interventionen ermöglicht werden würden. Ein standardisierter Einsatz dieser Kriterien in der Sportmedizin würde somit sowohl die medizinische Qualität als auch die Sicherheit für Hobbysportler:innen erhöhen und langfristig das Vertrauen in die sportmedizinische Versorgung stärken.

Zukünftige Forschungsansätze könnten sich auf größere und demographisch breite aufgestellte Stichproben konzentrieren, um eine umfassendere Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten und spezifische Effekte präziser zu erfassen. Besonders in Anbetracht der signifikanten geschlechts-, alters- und sportartspezifischen Unterschiede wäre es wünschenswert, eigene EKG-Normwerte für verschiedene Sportarten und Altersgruppen zu entwickeln und zu validieren, um individualisierte Grenzwerte für die verschiedenen Parameter festlegen zu können. Außerdem wären Längsschnittstudien, die über mehrere Jahre hinweg die Veränderungen der EKG-Parameter bei Athlet:innen beobachten, besonders wertvoll. Solche Studien könnten helfen, die Entwicklung und das Risiko von kardialen Anpassungen und pathologischen Veränderungen im Verlauf der sportlichen Karriere zu verstehen und frühzeitig präventive Maßnahmen einzuleiten.

Eine weitere vielversprechende Forschungsrichtung könnte darin bestehen, den Effekt regelmäßiger EKG-Untersuchungen im Sinne der modifizierten „Seattle-Kriterien“ auf die

Häufigkeit kardialer Vorfälle im Breitensport zu untersuchen. Solche Erkenntnisse könnten in der Praxis die Evidenzbasis für den Nutzen regelmäßiger EKG-Untersuchungen stärken und langfristig zur Erhöhung der Sicherheit im Sport beitragen.

Weitere Studien sollten größere und gleichmäßiger verteilte Stichproben verwenden, um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu verbessern. Zukünftige Forschung könnte sich auf die Entwicklung und Validierung zusätzlicher EKG-Kriterien konzentrieren, die spezifisch für verschiedene Sportarten und Altersgruppen entwickelt werden. Auch Längsschnittstudien wären von Bedeutung, um die kausalen Beziehungen zwischen kardiologischen Anpassungen und dem Risiko für kardiale Ereignisse besser zu verstehen. Schließlich könnten Untersuchungen zur Wirksamkeit präventiver EKG-Untersuchungen hinsichtlich der Reduktion von kardialen Ereignissen im Leistungssport wertvolle Hinweise für die Praxis liefern.

Da in dieser Studie ausschließlich körperlich aktive Personen einbezogen wurden, wäre es interessant, die EKG-Interpretationen von Nicht-Sportler:innen zu untersuchen und zu vergleichen. Besonders relevant wäre hierbei, wie sich die EKG-Muster und die Verteilung der Befunde gemäß den modifizierten „Seattle-Kriterien“ bei Nicht-Sportler:innen darstellen würden. Dies könnte wertvolle Erkenntnisse darüber liefern, inwieweit sportliche Aktivität die Ausprägung kardialer Parameter beeinflusst und ob bestimmte Abweichungen tatsächlich sportspezifisch sind oder auch bei inaktiven Personen auftreten. Ein solcher Vergleich könnte dabei helfen, die Kriterien weiter zu verfeinern und spezifische Anpassungen für sportliche und nicht-sportliche Populationen zu entwickeln.

Wie bereits im Kapitel „Limitationen“ dargelegt, erscheint eine geschlechterdifferenzierte Beurteilung des EKGs nach den modifizierten „Seattle-Kriterien“ sinnvoll. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass eine geschlechtsspezifische Anpassung dieser Kriterien die diagnostische Genauigkeit verbessern und die Häufigkeit von Fehldiagnosen verringern könnte (Bradley Petek, 2018). Dies gilt insbesondere für die Früherkennung kardiovaskulärer Risiken bei weiblichen Sportlerinnen. Vor diesem Hintergrund bietet sich für zukünftige Forschungsarbeiten die Untersuchung und mögliche Integration geschlechterspezifischer Unterschiede in die modifizierten „Seattle-Kriterien“ als eine vielversprechende Strategie an.

Zusammenfassend unterstreicht diese Masterarbeit die Bedeutung präziser und differenzierter kardiologischer Diagnostik. Die analysierten Parameter verdeutlichen die

Notwendigkeit geschlechtsspezifischer und altersangepasster Beurteilungen, während die modifizierten "Seattle-Kriterien" als wertvolle Grundlage dienen. Diese Erkenntnisse können den Grundstein für zukünftige Forschung und präventive Maßnahmen legen, die die Gesundheit von Sportler:innen nachhaltig fördern. Persönlich hoffe ich, dass die gewonnenen Erkenntnisse nicht nur zur wissenschaftlichen Diskussion beitragen, sondern auch einen praktischen Nutzen hervorbringen, indem sie langfristig zur verbesserten Vorsorgemaßnahmen und einem bewussteren Umgang mit der Gesundheit von Sportler:innen führen.

5 Literaturverzeichnis

- Ahmadi, P., Afzalian, A., Jalali, A., Sadeghian, S., Masoudkabar, F., Orabi, A., Ayati, A., Nayeberad, S., Pezeshki, P. S., Lotfi Tokaldani, M., Shafiee, A., Mohammadi, M., Sanei, E., Tajdini, M., & Hosseini, K. (2023a). Age and gender differences of basic electrocardiographic values and abnormalities in the general adult population; Tehran Cohort Study. *BMC Cardiovascular Disorders*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12872-023-03339-z>
- Ahmadi, P., Afzalian, A., Jalali, A., Sadeghian, S., Masoudkabar, F., Orabi, A., Ayati, A., Nayeberad, S., Pezeshki, P. S., Lotfi Tokaldani, M., Shafiee, A., Mohammadi, M., Sanei, E., Tajdini, M., & Hosseini, K. (2023b). Age and gender differences of basic electrocardiographic values and abnormalities in the general adult population; Tehran Cohort Study. *BMC Cardiovascular Disorders*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12872-023-03339-z>
- Aro, A. L., Anttonen, O., Kerola, T., Junttila, M. J., Tikkanen, J. T., Rissanen, H. A., Reunanen, A., & Huikuri, H. V. (2014). Prognostic significance of prolonged PR interval in the general population. *European Heart Journal*, 35(2), 123–129. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu176>
- Bradley Petek, M. M. W. (2018). The heart of the female athlete. *American College of Cardiology*. <https://www.acc.org/latest-in-cardiology/articles/2018/06/11/13/33/the-heart-of-the-female-athlete>.
- Chaitman, B. R. (2007). An electrocardiogram should not be included in routine preparticipation screening of young athletes. *Circulation*, 116(22), 2610–2615. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.107.711465>
- Chan, Y.-H., Hai, J. J., Lau, K.-K., Li, S.-W., Lau, C.-P., Siu, C.-W., Yiu, K.-H., & Tse, H.-F. (2017). PR interval prolongation in coronary patients or risk equivalent: excess risk of ischemic stroke and vascular pathophysiological insights. *BMC Cardiovascular Disorders*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12872-017-0667-2>
- Cook-Sup So. (2013). *Praktische EKG-Deutung: Einführung in die Elektrokardiografie* (C.-S. So, Hrsg.; 4. Aufl.). Thieme.
- Corrado, D., Pelliccia, A., Heidbuchel, H., Sharma, S., Link, M., Basso, C., Biffi, A., Buja, G., Delise, P., Gussac, I., Anastasakis, A., Borjesson, M., Bjornstad, H. H., Carre, F., Deligiannis, A., Dugmore, D., Fagard, R., Hoogsteen, J., Mellwig, K. P., ... on behalf of the Sections of Sports Cardiology of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation; and the Working Group of Myocardial and Pericardial Disease of the European Society of Cardiology. (2010). Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the athlete. *European Heart Journal*, 31(2), 243–259. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp473>

- Drezner, J. A., Ackerman, M. J., Anderson, J., Ashley, E., Asplund, C. A., Baggish, A. L., Börjesson, M., Cannon, B. C., Corrado, D., DiFiori, J. P., Fischbach, P., Froelicher, V., Harmon, K. G., Heidbuchel, H., Marek, J., Owens, D. S., Paul, S., Pelliccia, A., Prutkin, J. M., ... Wilson, M. G. (2013). Electrocardiographic interpretation in athletes: the 'Seattle Criteria': Table 1. *British Journal of Sports Medicine*, 47(3), 122–124. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-092067>
- Drezner, J. A., Sharma, S., Baggish, A., Papadakis, M., Wilson, M. G., Prutkin, J. M., Gerche, A. L., Ackerman, M. J., Borjesson, M., Salerno, J. C., Asif, I. M., Owens, D. S., Chung, E. H., Emery, M. S., Froelicher, V. F., Heidbuchel, H., Adamuz, C., Asplund, C. A., Cohen, G., ... Corrado, D. (2017). International criteria for electrocardiographic interpretation in athletes: Consensus statement. *British Journal of Sports Medicine*, 51(9), 704–731. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097331>
- Friedrich, W. (2007). *Optimales Sportwissen: Grundlagen der Sporttheorie und Sportpraxis* (2. Aufl.). Spitta.
- Harris, P. R. E. (2016). The normal electrocardiogram. *Critical Care Nursing Clinics of North America*, 28(3), 281–296. <https://doi.org/10.1016/j.cnc.2016.04.002>
- Haverkamp, W. (2017). Fokus-EKG: Das gesamte Wissen zum Thema EKG für die Praxis. Fokus-EKG. <https://www.fokus-ekg.de/>
- Horacek, T. (2018). *Der EKG-Trainer: Ein Selbstlernkurs zur sicheren EKG-Befundung*. Georg Thieme Verlag.
- Hottenrott K., N. G. (2020). Geschlechtsspezifische Formel für optimale Trainingsherzfrequenzen. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»*. https://sems-journal.ch/wp-content/uploads/2020/02/Spomed-3-2012_Artikel2.pdf
- Huang, G., Shi, X., Davis-Brezette, J. A., & Osness, W. H. (2005). Resting heart rate changes after endurance training in older adults: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(8), 1381–1386. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000174899.35392.0c>
- Jensen, M. T. (2019). Resting heart rate and relation to disease and longevity: past, present and future. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 79(1–2), 108–116. <https://doi.org/10.1080/00365513.2019.1566567>
- Jeyaparakash, N., Rao, V., & Rajakumar, D. (2016). Impact of gender on QT and QTc interval in relation to exercise. *Scholars journal of applied medical sciences*. <https://doi.org/10.36347/sjams.2016.v04i08.083>
- Kleindienst, R. (2008). Grundlagen des EKG. EKG-Online. <http://www.grundkurs-ekg.de/lagetyp/lagetyp1.htm>
- Koch, S., Cassel, M., Linné, K., Mayer, F., & Scharhag, J. (2014). ECG and echocardiographic findings in 10–15-year-old elite athletes. *European Journal of Preventive Cardiology*, 21(6), 774–781. <https://doi.org/10.1177/2047487312462147>

- Lawrenz, W. (2012). Das Ruhe-EKG in der sportmedizinischen Untersuchung von Kindern und Jugendlichen - ist es notwendig? Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2012(04), 111–113. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2012.018>
- Löllgen, H. (2017). Neue Internationale Empfehlungen zur EKG-Beurteilung bei Sportlern: Panta rhei oder Endpunkt? Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2017(06), 137–141. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2017.284>
- Macfarlane, P. W. (2018). The influence of age and sex on the electrocardiogram. In *Advances in Experimental Medicine and Biology* (S. 93–106). Springer International Publishing.
- Magnani, J. W., Wang, N., Nelson, K. P., Connelly, S., Deo, R., Rodondi, N., Schelbert, E. B., Garcia, M. E., Phillips, C. L., Shlipak, M. G., Harris, T. B., Ellinor, P. T., Benjamin, E. J., & for the Health, Aging, and Body Composition Study. (2013). Electrocardiographic PR interval and adverse outcomes in older adults: The Health, aging, and Body Composition Study. *Circulation. Arrhythmia and Electrophysiology*, 6(1), 84–90. <https://doi.org/10.1161/circep.112.975342>
- Mancia, G., Fagard, R., Narkiewicz, K., Redon, J., Zanchetti, A., Böhm, M., Christiaens, T., Cifkova, R., De Backer, G., Dominiczak, A., Galderisi, M., Grobbee, D. E., Jaarsma, T., Kirchhof, P., Kjeldsen, S. E., Laurent, S., Manolis, A. J., Nilsson, P. M., Ruilope, L. M., ... Wood, D. A. (2013). 2013 ESH/ESC guidelines for the management of arterial hypertension: the Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*, 34(28), 2159–2219. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/eh151>
- Martinez, M. W., Kim, J. H., Shah, A. B., Phelan, D., Emery, M. S., Wasfy, M. M., Fernandez, A. B., Bunch, T. J., Dean, P., Danielian, A., Krishnan, S., Baggish, A. L., Eijssvogels, T. M. H., Chung, E. H., & Levine, B. D. (2021). Exercise-induced cardiovascular adaptations and approach to exercise and cardiovascular disease. *Journal of the American College of Cardiology*, 78(14), 1453–1470. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.08.003>
- Mont, L., Pelliccia, A., Sharma, S., Biffi, A., Borjesson, M., Brugada Terradellas, J., Carré, F., Guasch, E., Heidbuchel, H., La Gerche, A., Lampert, R., McKenna, W., Papadakis, M., Priori, S. G., Scanavacca, M., Thompson, P., Sticherling, C., Viskin, S., Wilson, M., ... Reviewers. (2017). Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: Position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. *European Journal of Preventive Cardiology*, 24(1), 41–69. <https://doi.org/10.1177/2047487316676042>
- Nanchen, D. (2018). Resting heart rate: what is normal? *Heart (British Cardiac Society)*, 104(13), 1048–1049. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2017-312731>
- Oja, P., Memon, A.R., Titze, S. et al. (2024). Health Benefits of Different Sports: a Systematic Review and Meta-Analysis of Longitudinal and Intervention Studies Including 2.6 Million Adult Participants. *Sports Med - Open*, 2024. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00692-x>

- Pressler, A., & Niebauer, J. (Hrsg.). (2020). Textbook of sports and exercise cardiology (1. Aufl.). Springer Nature.
- Ragazzoni, G. L., Cavigli, L., Cavarretta, E., Maffei, S., Mandoli, G. E., Pastore, M. C., Valente, S., Focardi, M., Cameli, M., Di Salvo, G., Pieves, G., & D'Ascenzi, F. (2023). How to evaluate resting ECG and imaging in children practising sport: a critical review and proposal of an algorithm for ECG interpretation. *European Journal of Preventive Cardiology*, 30(5), 375–383. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwac218>
- Raisi-Estabragh, Z., Cooper, J., Judge, R., Khanji, M. Y., Munroe, P. B., Cooper, C., Harvey, N. C., & Petersen, S. E. (2020). Age, sex and disease-specific associations between resting heart rate and cardiovascular mortality in the UK BIOBANK. *PloS One*, 15(5), e0233898. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233898>
- Rautaharju, P. M., Surawicz, B., & Gettes, L. S. (2009). AHA/ACCF/HRS recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: Part IV: The ST segment, T and U waves, and the QT interval: A scientific statement from the American heart association electrocardiography and arrhythmias committee, council on clinical cardiology; The American college of cardiology foundation; And the heart rhythm society: endorsed by the international society for computerized electrocardiology. *Circulation*, 119(10). <https://doi.org/10.1161/circulationaha.108.191096>
- Reimers, A., Knapp, G., & Reimers, C.-D. (2018). Effects of exercise on the resting heart rate: A systematic review and meta-analysis of interventional studies. *Journal of Clinical Medicine*, 7(12), 503. <https://doi.org/10.3390/jcm7120503>
- Retzlaff, B. (2017). Ruhe-EKG-Veränderungen bei Hochleistungssportlern aus Kraft-, Schnellkraft- und KraftausdauerSportarten [Technischen Universität München]. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1341191/1341191.pdf>
- Ritt, L. E., Milani, M., & Stein, R. (2022). Long QT syndrome: to exercise safely or not to exercise, that's the question!!! *European Journal of Preventive Cardiology*, 29(12), 1630–1632. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwac109>
- Scharhag, J., & Burgstahler, C. (2013). Das Sportler-EKG: Aktuelle Interpretationen und Empfehlungen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 2013(12). <https://doi.org/10.5960/dzsm.2013.097>
- Schindler, M. J., & Schmied, C. (2016). EKG- Interpretation bei Sportlern – die «Seattle-Kriterien». *Swisscardiosport.ch*. <https://swisscardiosport.ch/files/users/595/mediathek//file/Revised%20Seattle%20Kriterien%202015.pdf>
- Schmied, C. M. (2019). The International (Seattle) criteria. *Swiss Sports & Exercise Medicine*, 67(2). <https://doi.org/10.34045/ssm/2019/9>

- Schumacher, K., Dagres, N., Hindricks, G., Husser, D., Bollmann, A., & Kornej, J. (2017). Characteristics of PR interval as predictor for atrial fibrillation: association with biomarkers and outcomes. *Clinical Research in Cardiology: Official Journal of the German Cardiac Society*, 106(10), 767–775. <https://doi.org/10.1007/s00392-017-1109-y>
- Seviiri, M., Lynch, B. M., Hodge, A. M., Yang, Y., Liew, D., English, D. R., Giles, G. G., Milne, R. L., & Dugué, P.-A. (2018). Resting heart rate, temporal changes in resting heart rate, and overall and cause-specific mortality. *Heart (British Cardiac Society)*, 104(13), 1076–1085. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2017-312251>
- Sharma, S., Drezner, J. A., Baggish, A., Papadakis, M., Wilson, M. G., Prutkin, J. M., La Gerche, A., Ackerman, M. J., Borjesson, M., Salerno, J. C., Asif, I. M., Owens, D. S., Chung, E. H., Emery, M. S., Froelicher, V. F., Heidbuchel, H., Adamuz, C., Asplund, C. A., Cohen, G., ... Corrado, D. (2018). International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. *European Heart Journal*, 39(16), 1466–1480. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw631>
- Carbone V, Guarnaccia F, Carbone G, Zito GB, Oliviero U, Soreca S, Carbone F (2020). Gender differences in the 12-lead electrocardiogram: clinical implications and prospects. *Ital J Gender-Specific Med*. <https://doi.org/10.1723/3432.34217>
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153–156. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01054-8)
- Trappe, H.-J., & Schuster, H.-P. (2017). *EKG-Kurs für Isabel (7. Aufl.)*. Thieme.
- Trautwein, J. (2022). Einflussgrößen auf die Parameter physiologisch kardiovaskulärer Diagnose - Methoden: Atemabhängigkeit von P ± Wellen ± Amplitude, PQ-, QT-/QTc-Zeit und RR-Intervall im EKG. Medizinische Universität Wien.
- Ujeyl, A., & Niederseer, D. (2023). Das EKG beim Leistungssportler und Athleten: Was ist normal und was nicht? *Herzschrittmachertherapie & Elektrophysiologie*, 34(1), 10–18. <https://doi.org/10.1007/s00399-022-00917-0>
- Vink, A. S., Clur, S.-A. B., Wilde, A. A. M., & Blom, N. A. (2018). Effect of age and gender on the QTc-interval in healthy individuals and patients with long-QT syndrome. *Trends in Cardiovascular Medicine*, 28(1), 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2017.07.012>
- Wang, A., Chen, S., Wang, C., Zhou, Y., Wu, Y., Xing, A., Luo, Y., Huang, Z., Liu, X., Guo, X., Zhao, X., & Wu, S. (2014). Resting heart rate and risk of cardiovascular diseases and all-cause death: The kailuan study. *PloS One*, 9(10), e110985. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110985>
- Warscher, M.-C. (2021). Sportmedizin: Sport nur mit Check. *Österreichische Ärztezeitung - ÖÄZ*; Verlagshaus der Ärzte. <https://aerztezeitung.at/2021/oaz-artikel/medizin/sportmedizin-sport-nur-mit-check/>

Wikipedia. (2007). Wikimedia.org.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/66/Precordial_Leads_2.svg/2000p

Yanık, H., Değirmenci, E., & Büyükkakılı, B. (2021). A comprehensive electrocardiographic analysis for young athletes. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 59(9), 1865–1876. <https://doi.org/10.1007/s11517-021-02401-2>

Zhou, J., Hothi, S. S., Kai Chan, J. S., Lee, S., Wong, W. T., Kit Leung, K. S., Chung Wai, A. K., Jeevaratnam, K., Liu, T., Tse, G., & Zhang, Q. (2021). Gender-specific long-term prognostic values of QRS duration, QT interval, and QTc from automated ECG analysis for mortality and adverse outcomes in patients hospitalized for heart failure. In medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2021.07.09.21260281>

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Kurve eines EKGs (https://www.ratgeber-herzinsuffizienz.de/erkennen/herzuntersuchungen/ekg).	12
Abbildung 2: Die "Seattle-Kriterien". Internationaler Standard für die Interpretation von EKGs bei Sportler:innen (Sharma et al., 2018).	18
Abbildung 3: Empfehlungen der EKG-Interpretation von pädiatrischen SportlerInnen (Ragazzoni et al., 2023).....	19
Abbildung 4: Die Brustwandableitungen nach Wilson (Wikipedia, 2007).	24

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Alter zum Testzeitpunkt im Gesamtkollektiv und bei getrennten Geschlechtern...	25
Tabelle 2: Übersicht der Körpergröße (cm) aller Teilnehmer:innen.....	25
Tabelle 3: Übersicht des Körpergewichts (kg) aller Teilnehmer:innen.	25
Tabelle 4: Übersicht des BMI der Teilnehmer:innen.....	26
Tabelle 5: Verteilung der Teilnehmer:innen auf die BMI-Kategorien.....	26
Tabelle 6: Übersicht der Blutdruckwerte (mmHg) der Teilnehmer:innen.	27
Tabelle 7: Verteilung der Sportkategorien der über 18-Jährigen.	28
Tabelle 8: Vergleich der kardiologischen Parameter zwischen Männern und Frauen unter und über 18 Jahre.	29
Tabelle 9: Vergleich der kardiologischen Parameter hinsichtlich der Sportkategorien der unter und über 18-Jährigen.	30
Tabelle 10: Übersicht der kardiologischen Parameter der Ausdauersportler:innen.....	31
Tabelle 11: Verteilung der Lagetypen aller Ausdauersportler:innen. 1:Steiltyp, 2: Indifferenztyp, 3:Linkstyp, 4:Rechtstyp, 5: überdrehter Linkstyp, 7: Sagittaltyp.	31
Tabelle 12: Übersicht der kardiologischen Parameter der KraftsportlerInnen.....	32
Tabelle 13: Verteilung der Lagetypen der Kraftsportler:innen. 1:Steiltyp, 2: Indifferenztyp, 3:Linkstyp, 4:Rechtstyp	32
Tabelle 14: Übersicht der kardiologischen Parameter der "Skill"-Sportler:innen.	33
Tabelle 15: Verteilung der Lagetypen der "Skill"-Sportler:innen. 1:Steiltyp, 2: Indifferenztyp, 3:Linkstyp, 4:Rechtstyp.	33
Tabelle 16: Übersicht der kardiologischen Parameter der Spielsportler:innen.....	34
Tabelle 17: Verteilung der Lagetypen der Spielsportler:innen. 1:Steiltyp, 2: Indifferenztyp, 3:Linkstyp, 4:Rechtstyp, 7: Sagittaltyp	34
Tabelle 18: Die Verteilung des Gesamtkollektives auf die modifizierten "Seattle-Kriterien".	35
Tabelle 19: Geschlechtergetrennte Darstellung der modifizierten „Seattle Kriterien“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv.	35
Tabelle 20: Altersgetrennte Darstellung der modifizierten „Seattle-Kriterien“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv.	36
Tabelle 21: Diese Tabelle zeigt die differenzierte Ruhe-EKG-Beurteilung anhand des Studienkollektivs.....	36
Tabelle 22: ANOVA der Herzfrequenz.....	37
Tabelle 23: ANOVA der PQ-Zeit.	39
Tabelle 24: ANOVA der QRS-Zeit.....	40

Tabelle 25: ANOVA der QTc-Zeit.	42
Tabelle 26: ANOVA der modifizierten „Seattle-Kriterien“	44

8 Grafikverzeichnis

Grafik 1: Verteilung der Proband:innen auf die Sportkategorien.	22
Grafik 2: Boxplot der Herzfrequenz (Schläge/min) und Geschlecht.	38
Grafik 3: Boxplot der QRS-Zeit (ms) und Geschlecht.....	41
Grafik 4: Boxplot der QTc-Zeit (ms) und Geschlecht.	43
Grafik 5: Streudiagramm zur Darstellung der ungleichen Verteilung des Gesamtkollektivs..	47