



# MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Einfluss des Menstruationszyklus auf den Fettstoffwechsel während  
Ausdauerbelastungen bei aktiven, eumenorrhöischen Frauen.

verfasst von | submitted by

Lena Lauxtermann B.Sc.

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of  
Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2024

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

UA 066 826

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

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von | Supervisor:

Assoz. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Barbara Wessner Privatdoz.

## Abstrakt:

*Hintergrund:* Tendenzen einer geschlechterspezifischen Substratverwertung deuten auf den möglichen Einfluss der hormonellen Schwankungen während des Menstruationszyklus (MZ) hin. Trotzdem bleiben hochqualitative Untersuchungen verschiedener MZ-Phasen rund um den Energiestoffwechsel größtenteils aus, sodass das Gender-Data-Gap weiterhin besteht. Obwohl 41,7% der Sportlerinnen subjektiv durch den Menstruationszyklus (MZ) beeinträchtigt sind, gibt es nur begrenzte Evidenz für objektive Leistungseinbußen. Diese Studie untersucht aufgrund dessen den Einfluss des MZ auf die Sauerstoffaufnahme und den Fettstoffwechsel bei aktiven, eumenorrhöischen Frauen im submaximalen Ausdauerbereich.

*Methoden:* Zehn aktive, eumenorrhöische Frauen haben in der Menstruationsphase (MP), der späten Follikelphase (LFP) und der mittleren Lutealphase (MLP) in zwei aufeinanderfolgenden Zyklen submaximale Testungen auf dem Fahrradergometer durchgeführt (n = 10). Mithilfe der Square Wave Transitions wurde mit Breath-by-breath-Daten die Sauerstoffaufnahmekinetik sowie die Verwertung von Fetten und Kohlenhydraten sowohl im niedrigen (IL) als auch im hohen (IH) Intervall gemessen.

*Ergebnisse:* Es gab keine statistisch signifikanten Auswirkungen der MZ-Phase auf die Sauerstoffaufnahmekinetik (IL:  $p = 0.524$ ; IH:  $p = 0.432$ ) sowie den Fett- ( $p = 0.449$ ) und Kohlenhydratstoffwechsel ( $p = 0.846$ ) auf Gruppenebene. Die Herzfrequenz-, Laktat-, Bruttoeffizienz- und RPE-Werte zeigten keine signifikanten Ergebnisse. Dennoch wurden insbesondere im Intervall der ‚Heavy exercise intensity domain‘ große Effektgrößen von bis zu  $\eta^2 = 0.251$  gemessen. Objektive und subjektive Parameter waren zwischen MP, LFP und MLP bei einzelnen Personen mit Abweichungen zwischen 0–7% uneinheitlich.

*Schlussfolgerung:* Keine der Variablen wurde durch die MZ-Phase auf Gruppenebene beeinflusst, aber einige individuelle Muster sind durch prozentuale Abweichungen vom individuellen Mittelwert erkennbar. Große Effektstärken deuten darauf hin, dass die Stichprobengröße zu klein gewesen sein könnte oder individuelle Veränderungen unterschiedlicher Richtungen die Ursache fehlender Signifikanzen sein könnten. Weitere Analysen sind notwendig. Um festzustellen, ob die Trainingssteuerung mit dem MZ individuell angemessen ist, sollte der Zyklus getrackt werden.

## Abstract:

*Purpose:* Trends in sex-specific substrate utilization suggest the possible influence of hormonal fluctuations during the menstrual cycle (MC). However, high-quality studies examining different MC phases in relation to energy metabolism are largely lacking, contributing to the ongoing gender data gap. Although 41.7% of female athletes report subjective impairments due to the menstrual cycle (MC), there is limited evidence for objective performance declines. Therefore, this study investigates the impact of the MC on oxygen uptake and fat metabolism in active, eumenorrheic women during submaximal endurance exercise.

*Methods:* Ten active, eumenorrheic women completed submaximal cycling tests during the menstrual phase (MP), late follicular phase (LFP), and mid-luteal phase (MLP) in two consecutive cycles (n = 10). Using square wave transitions and breath-by-breath data, oxygen uptake kinetics and the utilization of fats and carbohydrates were measured in both low-intensity (IL) and high-intensity (IH) intervals.

*Results:* There were no statistically significant effects of the MC phase on oxygen uptake kinetics (IL:  $p = 0.524$ ; IH:  $p = 0.432$ ) or on fat ( $p = 0.449$ ) and carbohydrate metabolism ( $p = 0.846$ ) at the group level. Heart rate, lactate, gross efficiency, and RPE values also showed no significant differences. However, large effect sizes of up to  $\eta^2 = 0.251$  were observed, particularly in the moderate exercise intensity domain. Objective and subjective parameters varied between MP, LFP, and MLP within individuals, with deviations ranging from 0–7%.

*Conclusion:* None of the variables were influenced by the MC phase at the group level, but some individual patterns were detectable through percentage deviations from individual means. The large effect sizes suggest that the sample size may have been too small or that individual variations in different directions could explain the lack of significant results. Further analyses are needed. To determine whether training management is appropriately aligned with the MC on an individual basis, cycle tracking should be implemented.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	6
1.Einleitung.....	1
1.1 Physiologie des MZ.....	3
1.2 Hormoneller Einfluss der Stoffwechselwege.....	6
1.3 Geschlechterspezifische Variation des Fettstoffwechsels.....	9
1.4 Auswirkung des MZ auf submaximale Parameter.....	12
1.5 Thematische Grundlagen der Messparameter.....	13
1.6 Ziel der Arbeit.....	16
2 Methodik.....	18
2.1 Studiendesign.....	18
2.2 Probandinnen.....	19
2.3 Phasenverifikation.....	21
2.4 Leistungsdiagnostik.....	22
2.5 Ablauf der submaximalen Testungen.....	23
2.6 Datenverarbeitung.....	26
2.7 Statistik.....	27
3 Ergebnisse.....	29
3.1 Flowchart der Teilnehmerinnen.....	29
3.2 Deskriptive Statistik.....	30
3.3 Energiestoffwechsel.....	34
3.4 Sauerstoffaufnahmekinetik.....	35
3.5 weitere Parameter.....	36
3.6 Individuelle Ergebnisanalyse.....	39
4 Diskussion.....	55
4.1 Einordnung der Resultate.....	55
4.1.1 Interpretation der Ergebnisse auf Gruppenebene.....	55

4.1.2 Interpretation der Ergebnisse auf individueller Ebene .....	57
4.2 Herausforderungen einer Zyklusstudie .....	60
4.2.1 Zyklusunregelmäßigkeiten der Studienteilnehmerinnen .....	60
4.2.2 Problematik der Hormonmessungen und Phasenverifikation .....	64
4.3 Stellenwert des MZ.....	65
4.4 Limitationen .....	67
5 Fazit.....	73
Literaturverzeichnis.....	74
Abkürzungsverzeichnis .....	90
Abbildungsverzeichnis .....	91
Tabellenverzeichnis .....	95
Anhang .....	96

## Vorwort

Ich bedanke mich bei meiner Betreuerin Assoz. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Barbara Wessner für Ihre motivierenden Worte und ihre von mir sehr geschätzte Meinung. Ganz besonderer Dank geht an Mag<sup>a</sup> Dr.<sup>in</sup> Astrid Mathy und Dr. Christoph Triska, welche mir die Durchführung dieser tollen Studie zugetraut haben. Dank euch habe ich wahnsinnig viel gelernt.

Großen Dank an Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Jürgen Scharhag für die Möglichkeit, die Studie im Studienlabor der Universität Wien durchzuführen.

Des Weiteren danke ich Karin Mesicek und Dr.<sup>in</sup> Theresa Hofbauer für Ihre tatkräftige Unterstützung bei der Blutabnahme sowie dem ganzen Team des ÖISM, insbesondere M.Sc. David Nader, für die Unterstützung während der gesamten Studiendauer.

. Natürlich bedanke ich mich bei den Probandinnen der Studie, die mir durch die Teilnahme an der Studie das Schreiben der Masterarbeit ermöglichten und mich durch ihre Neugier motiviert haben noch tiefer in das Themengebiet des Menstruationszyklus im Sport einzutauchen.

Weiters danke Ich meiner Familie, meinem Freund und meinen engen FreundInnen, welche mich während meines gesamten Weges ermutigt haben. Vielen Dank!

# 1. Einleitung

Innerhalb der letzten drei Jahrzehnte ist die Anzahl der sportlich aktiven Frauen sowie der im Spitzensport etablierten Athletinnen stark angestiegen, sodass der weibliche Anteil bei fast 50% aller SportlerInnen der Olympischen Spiele in Tokyo 2021 lag (IOC, 2021). Im Gegensatz zur positiven Entwicklung zunehmender Investitionen in professionelle SportlerInnen (Commission, 2019; Sport., 2007) spiegelt die Wissenschaft den enormen Fortschritt der sportlichen Beteiligung nicht wider (Bruinvels et al., 2017; Smith et al., 2022). Ein Großteil der Forschung wird ausschließlich an Männern durchgeführt (Costello, 2014) und daraufhin in einem teils unangemessenen Maße auf SportlerInnen übertragen (Emmonds et al., 2019). Um anatomische, physiologische und endokrinologische Unterschiede adäquat zu beachten, ist die Durchführung geschlechterspezifischer Forschung und die Erstellung von Leitlinien, welche die weibliche Physiologie und insbesondere den Menstruationszyklus (MZ) einbeziehen, erforderlich (Knowles et al., 2019; Pitchers & Elliott-Sale, 2019). Denn momentan führt das Bestehen methodischer Schwächen (Carmichael et al., 2021) sowie der unklare Einfluss des MZ zur vermehrten Durchführung männerspezifischer Studien (Meignié et al., 2021). Es fehlt somit an frauenspezifischen Studien und an Offenheit (Brosel et al., 2021), sodass ein Gender-Data-Gap weiterhin besteht.

Studien, in denen die wahrgenommene Leistung untersucht wurde, berichten durchweg, dass SportlerInnen ihre Leistung während der frühen Follikelphase (EFP) sowie der späten Lutealphase als schlechter einschätzen (Carmichael et al., 2021). Während sich ein erheblicher Anteil von 41,7% der SportlerInnen durch den MZ in ihrer Leistungsfähigkeit beeinträchtigt fühlen (Bruinvels et al., 2016), wird dieser Effekt nur bedingt anhand objektiver Performanceparameter bestätigt, die eher geringfügig beeinflusst scheinen (McNulty et al., 2020). Betont wird, je nach psycho- und physiologischer Reaktion der Einzelnen auf ihren eigenen MZ (Boisseau & Isacco, 2022; McNulty et al., 2020), immer wieder die Wichtigkeit der individuellen Adaption, da der Variabilitätsgrades der individuellen Beeinflussung durch den MZ hoch ist (Oester et al., 2024). Erschwerend hinzu kommt, neben dem Fehlen standardisierter Leitlinien (McNulty et al., 2020), das Schweigen über den MZ, welches unvoreingenommen, offenen Gesprächen weichen sollte (Elliott-Sale et al., 2020), um den Leistungssport im Frauenbereich weiter zu professionalisieren.

Während sportlicher Belastungen zählen nicht nur Kohlenhydrate sondern auch Fette zu den wesentlichen Energiequellen (Jeukendrup et al., 1998a, 1998b). Hauptsächlich bestimmt die Trainingsintensität, dabei neben denkbaren Einflüssen des

Trainingszustands, Geschlechts, der Umwelt, der Ernährung und dem Ernährungszustand (Jeukendrup, 2003) sowie der Substratverwertung (Brooks & Mercier, 1994b), den Energiestoffwechsel. Über verschiedene Intensitäten hinweg (Isacco et al., 2012) hat der Fettstoffwechsel bei Frauen eine größere Bedeutung (Tarnopolsky, 2000; Timmons et al., 2005), da das Respiratorische Austauschverhältnis (RER) bei Frauen während körperlicher Aktivität mit gleicher relativer Intensität niedriger ist (Tarnopolsky, 2000). Aus metabolischer Sicht könnte das eine verbesserte Anpassung von Frauen an Ausdauersportarten vermuten lassen (Boisseau & Isacco, 2022). Diese Hypothese wird durch eine geringere Aminosäure- und Kohlenhydratoxidation bei höherer Fettoxidation nach Verabreichung von 17- $\beta$ -Östradiol an Männern bestätigt (Maher; et al., 2010; Tarnopolsky, 2008). Darüber hinaus unterscheiden sich Frauen neben höheren Fettsäurekonzentrationen (Mittendorfer et al., 2002) geringerer Laktat- (Hill & Vingren, 2014) und Muskelglykogenproduktion (Devries et al., 2006) während sportlicher Aktivität vom anderen Geschlecht.

Diskussionsbedarf besteht durch den Einfluss der Geschlechtshormone, welche ausschließlich im Erwachsenenalter, nach der Pubertät (Aucouturier et al., 2008) und vor der Menopause (Isacco et al., 2012), für eine geschlechterspezifische Substratverwertung sorgen. Auswirkungen von Progesteron und insbesondere von Östrogen sind bisher nicht eindeutig (Isacco et al., 2012), obwohl unterschiedliche Hormonkonzentrationen zumindest zu Teilen für eine veränderte Fettverbrennung während der Belastung sorgen (Jeukendrup et al., 1998b). Sowohl Östrogen als auch die Aktivität als solche könnten metabolische Veränderungen hervorrufen (Bunt, 1990). Denkbar ist die direkte Stimulierung von Östrogen auf die AMPK- (D'Eon et al., 2005) und PGC-1 $\alpha$ -Aktivität (Maher; et al., 2010), welches zur Expression zellulärer Proteine führt (Kiens et al., 2004). Die gesteigerten beta-oxidativen Proteine stehen in direktem Bezug zu erhöhten Potentialen der Fettoxidation (Maher et al., 2010; Oosthuyse & Bosch, 2010). Mit Einbezug des MZ deuten Studien einerseits auf eine größere Lipid- und eine geringere Kohlenhydratoxidation in der Lutealphase (LP) hin (Campbell & Febbraio, 2001b), während andere Studien diese Unterschiede der LP und Follikelphase (FP) nicht bestätigen können (Isacco et al., 2012; Oosthuyse & Bosch, 2010). Mögliche Ursache dafür könnten neben methodischen Schwächen in der Durchführung, beispielsweise der Genauigkeit der Phasenbestimmung, auch fehlende Informationen zum Hormon- und Ernährungsstatus der Probandinnen sein (Isacco et al., 2012). Darüber hinaus gelten MZ-Daten mit sportlichem Hintergrund der Probandinnen als schwer interpretierbar (Vogel et al., 2023).

## 1.1 Physiologie des MZ

Der MZ besteht aus einer Abfolge von Ereignissen, welche die Gebärmutter auf eine mögliche Schwangerschaft vorbereiten sollen. Ein MZ, der regelmäßig stattfindet und zwischen 21 und 35 Tage lang ist, wird als eumenorrhöisch bezeichnet und als Indikator körperlichen und geistigen Wohlbefinden angesehen (Vena & Paschou, 2021). Die Menarche, das erste Auftreten des MZ, findet durchschnittlich im Alter von 13 Jahren statt (Rees, 1995). Die Menopause, welche bei Frauen um die 50 Jahre auftritt (Rees, 1995), kennzeichnet das Ende der regelmäßig auftretenden MZ. Ein typischer Kreislauf der Hormonphysiologie ist bei allen eumenorrhöischen Frauen vorhanden. Trotzdem weisen die Hormonkonzentrationen und der Zeitpunkt der Zyklusereignisse eine große inter- (Häggström, 2014) sowie intra-individuelle (Eisenlohr-Moul, 2021) Variabilität auf, wodurch wissenschaftliche Untersuchungen in diesem Bereich erschwert werden (Blagrove et al., 2020). Der MZ ist als innerpersoneller Prozess zu verstehen, da intraindividuelle Veränderungen (d.h. schwankende Hormonkonzentrationen in einem Zyklus) vielmehr als interindividuelle Veränderungen (d.h. die Varianz des Ausgangsniveaus zwischen den Frauen) die Versuchsplanung und statistische Modellierung bestimmen sollten (Schmalenberger et al., 2021). Studien mit wiederholtem Messdesign, wie in dieser Studie, werden deshalb als Goldstandard angesehen (Schmalenberger et al., 2021).

Ein regelrechter Zyklus besteht aus einem 28-tägigen Ablauf. Die Zeitfenster der MZ-Phasen sind in Abbildung 1 dargestellt.

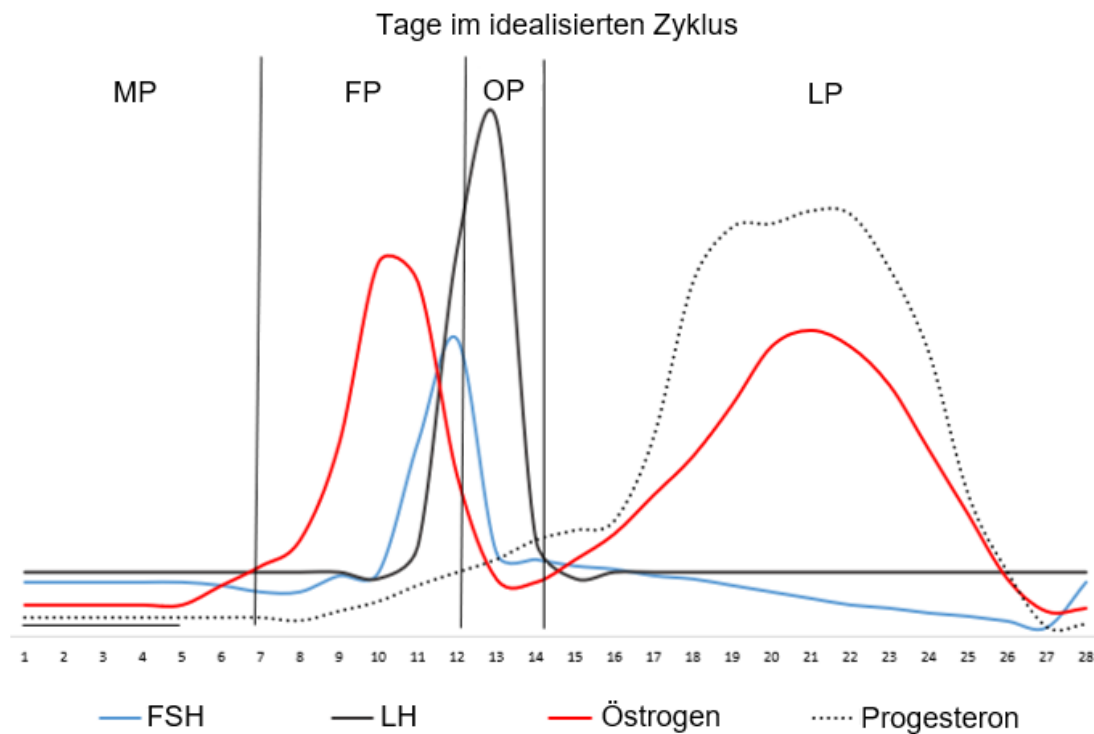


Abbildung 1: Wechselnde Konzentrationen der weiblichen Sexualhormone (FSH (blau), LH (schwarz), Östrogen (rot) & Progesteron (gestrichelt)) in den MZ-Phasen nach Meignié et al (2021). MP = Menstruationsphase; FP = Follikelphase; OP = Ovulationsphase; LP = Lutealphase.

Ein eumenorrhöischer Zyklus kann in zwei Hauptphasen, die FP und die LP unterteilt werden. Jedoch stellt die Unterteilung in zwei Phasen die unterschiedlichen hormonellen Milieus während des MZ nicht ausreichend dar, sodass in Abbildung 1 die MP sowie die Ovulationsphase hinzugefügt wurden. Weil sich die Hormonkonzentrationen innerhalb eumenorrhöischer Frauen innerhalb von 24 h um mehr als 100% verändern können (Davis & Hackney, 2017), sollte die Betrachtung der MZ-Phasen nicht vereinfacht werden (Bruinvels et al., 2022). Daher wird in der Forschung in der Regel in weitere Unterphasen wie z.B. EFP, späte Follikelphase (LFP), Ovulationsphase, frühe LP, mittlere LP (MLP) und späte LP untergliedert (Pitchers & Elliott-Sale, 2019). Hinzu kommt die mittlere FP (Bambaeichi et al., 2004; Gordon et al., 2013). Charakterisiert werden die Unterphasen durch die Schwankungen der weiblichen Sexualhormone, zu denen neben dem Follikel stimulierenden Hormon (FSH) und dem luteinisierenden Hormon (LH) auch Östrogen und Progesteron zählen (Reed & Carr, 2015). Die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse sorgt als Hauptregulator des Östrogens bei Frauen nach der Freisetzung von FSH und LH durch die Hypophyse für die Produktion von Östrogen und Progesteron (Ferin, 1996).

Die EFP beginnt mit der Menstruationsblutung, welche durchschnittlich vier bis sechs Tage andauert. Währenddessen befinden sich die Hormonkonzentration auf einem relativ niedrigen, stabilen Niveau. Das Gonadotropin FSH unterstützt im weiblichen Organismus die Reifung der Follikel sowie die Östrogenproduktion in den Granulosazellen (Lang, 2009), sodass bis zur Ovulation, welche durch den LH-Peak gekennzeichnet ist, der Östrogenspiegel ansteigt. Zudem ist die Testosteronkonzentration erhöht (Bui et al., 2013). Die weitere Ausschüttung von Gonadotropinen wird hauptsächlich durch Östradiol stimuliert, sodass mithilfe einer positiven Rückkopplung die Reifung eines Follikels zum Eisprung und zur Bildung des Corpus Luteum führt (Lang, 2009). Die wichtigste Funktion des Gelbkörpers ist die Progesteronkonzentration (Balasch & Vanrell, 1987), damit nach dem Eisprung eine 12-14-tägige LP folgt (Infertility, 2021). Es kann innerhalb der Dauer von elf bis 17 Tagen zu Abweichungen kommen (Infertility, 2021). In der frühen LP sinkt die Gonadotropinkonzentration bereits nach dem Eisprung durch die Hemmung der weiteren Ausschüttung durch Gestagene (Progesteron) und Östrogene ab (Lang, 2009). Die MLP wird durch die maximale Progesteronkonzentration, welche durchschnittlich sechs bis acht Tage nach Ovulation erfolgt (Infertility, 2021) sowie den zweiten, etwas kleiner ausfallenden Peak der Östrogenkonzentration gekennzeichnet. Nach (Stricker et al., 2006) kann der Zeitraum der MLP auf fünf bis neun Tage nach LH-Peak ausgeweitet werden. Bei ausbleibender Befruchtung baut sich das Corpus Luteum während der späten LP ab. Die Progesteron- und Östrogenwerte sinken, während die Gebärmutterschleimhaut abgebaut wird, sodass die Menstruation einsetzen kann (Sadava et al., 2019).

Die Hormonkonzentrationen und der Zeitpunkt der Zyklusereignisse weisen trotzdem eine große interindividuelle Variabilität auf, dessen Auswirkung dosisabhängig ist (Häggström, 2014; Stricker et al., 2006). Aufgrund dessen sind Verifizierungsmethoden wie die Serummessung von Östrogen und Progesteron sowie LH-Tests im Urin zur Bestimmung der exakten MZ-Phasen nötig (Elliott-Sale et al., 2020). Der Aufruf zur Messung der hormonellen Niveaus im Vergleich zur bloßen Abschätzung und daraus resultierender Annahme von Zykluszeitpunkten soll die Qualität der Studien und somit die Verlässlichkeit für Schlussfolgerungen erhöhen (Burden et al., 2024). Ansonsten können menstruale Dysfunktionen, die auch bei regelmäßig menstruierenden Frauen vorliegen können, unentdeckt bleiben (Burden et al., 2024). Als weitere Verifizierungsmethode dient die Bestimmung der basalen Körpertemperatur (BBT), diese unterliegt jedoch neben zirkamensalen Schwankungen auch zirkadianen Veränderungen (Birch & Reilly, 2002) und sollte aufgrund dessen nicht als alleinige Verifikationsmethode genutzt werden (Janse et al., 2019). Als Indikator für die Ovulation gilt der Temperaturanstieg dann, wenn in der LP

ein Anstieg zwischen 0,2° und 0,7°C verzeichnet werden kann (Colombo & Masarotto, 2000; de Mouzon et al., 1984; Marshall, 1963). Dies kann von inneren (Aufwachzeit, Schlafqualität, Krankheit) und äußeren Faktoren (Umgebungstemperatur) beeinträchtigt werden. Infolgedessen wird die Verbindung des kalendarischen Zählens der Tage nach Einsetzen des MZ in Kombination mit der Bestimmung des LH-Anstiegs im Urin und die Messung der Östrogen- und Progesteronkonzentration empfohlen, weil das kalendarische Zählen nicht zwischen ovulatorischen und anovulatorischen Zyklen unterscheiden kann (Janse et al., 2019). Obwohl im Erwachsenenalter bereits eine Zykluslänge zwischen 25 und 35 Tage als starker Prädiktor eines ovulatorischen Zyklus gilt (Magyar et al., 1979), ist die Dreischrittmethod eine sicherere Variante zur richtigen Detektion der Phasen, zumal bis zu 40% der Zyklen anovulatorisch sein können und die betroffenen Probandinnen ausgeschlossen werden sollten (Janse et al., 2019). Da methodische Schwierigkeiten häufig zu Interventionen mit niedriger bis mittlerer Qualität führen (Carmichael et al., 2021), wird der Goldstandard in der Phasenbestimmung nach Janse et al. (2019) innerhalb der Methodik dieser Studie berücksichtigt. Aufgrund fehlender hochqualitativer Studien (McGawley et al., 2023), welche häufig auf Abschätzungen der MZ-Phasen beruhen (Burden et al., 2024), existieren nur bedingt aussagekräftige Schlussfolgerungen, sodass bisher kein eindeutiger Konsens gefunden werden konnte.

## 1.2 Hormoneller Einfluss der Stoffwechselwege

Studien haben sich vorrangig auf die Wirkung von Östrogen auf den Stoffwechsel konzentriert und fassen dabei unter dem Begriff „Östrogen“ die natürlichen Östrogene Östrodial, Östron, und Östriol zusammen (Melmed, 2019). Östrogen spielt eine wesentliche Rolle bei der Regulierung des Substratstoffwechsels (Oosthuyse & Bosch, 2010), da es sowohl die Glykogenaufnahme (McNulty et al., 2020) bzw. -speicherung in Ruhe (Devries et al., 2006) erhöhen kann als auch mit der Einsparung von Muskelglykogen während der Belastung in Verbindung gebracht wird (Hackney, 1990). Dies kommt hauptsächlich in Phasen hoher Östrogenkonzentrationen zum Tragen und könnte eine Leistungssteigerung auslösen (Hackney et al., 2000). Plausibel erscheint aufgrund dessen der positive Einfluss des Östrogens auf die maximale und submaximale Leistungsfähigkeit (Isacco & Boisseau, 2017). Im Gegensatz dazu wird Progesteron eine synergetische katabole (Oosthuyse & Bosch, 2010) und anti-östrogene Wirkung zugeschrieben (Frankovich & Lebrun, 2000). Über die Tierforschung und die indirekte Kalorimetrie hinaus wurden Erkenntnisse über den Einfluss der Sexualhormone auf den Stoffwechsel eumenorrhöischer Frauen mithilfe der Verifizierung von Substratkinetiken mittels Tracern gewonnen (Oosthuyse & Bosch, 2010). Vorgeschlagene Mechanismen müssen deshalb für

die Bevölkerungsgruppe der natürlich menstruierenden Frauen nachgewiesen werden, um denkbare Prozesse aus der Tierforschung und in vitro Versuchen zu bestätigen (Bernstein & Behringer, 2023).

Verfügbarkeit der Lipide wird weg vom Fettgewebe (D'Eon et al., 2005) und hin zur Speicherung- und Oxidation im Skelettmuskel justiert (Oosthuysen et al., 2022). Direkt einwirkend auf die Fettsäuremobilisierung durch Schlüsselenzyme des Fett- und Muskelgewebe (Campbell & Febbraio, 2001b) sorgt Östrogen für eine vermehrte Verwertung von Fetten statt Kohlenhydraten (Bunt, 1990). Indirekt fördert Östrogen andere Hormone, welche für die Steigerung der Lipolyse und Glykogenese in Ruhe als auch für die Verminderung der Glykogenolyse bei körperlicher Aktivität verantwortlich sind (Bunt, 1990; Davis & Hackney, 2017; Newell-Fugate, 2017). Diese Mechanismen werden in Abbildung 2 veranschaulicht.

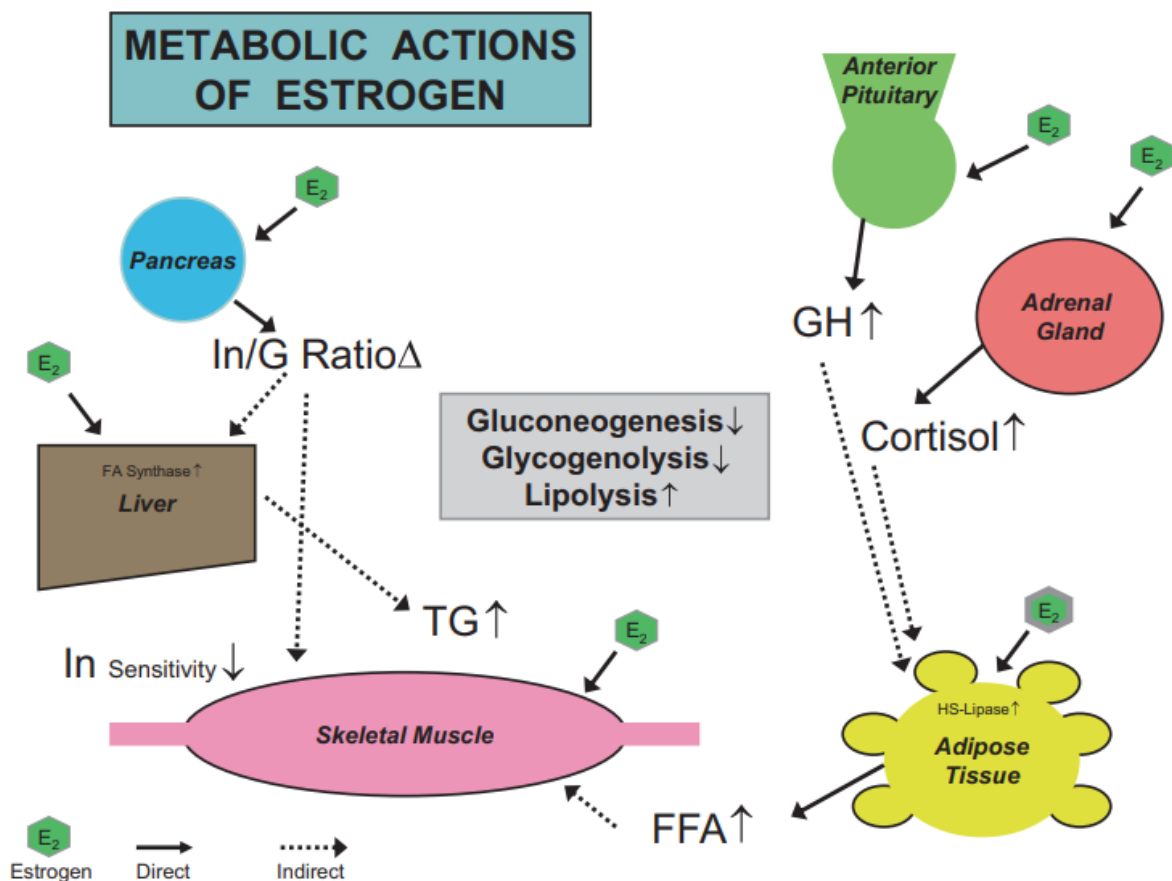


Abbildung 2: Direkte (durchgezogene Pfeile) und indirekte (gestrichelte Pfeile) Auswirkungen von Östrogen (E<sub>2</sub>) auf die Regulierung des Energiestoffwechsels und die Verfügbarkeit von Energiesubstraten. FFA = freie Fettsäuren; G = Glucagon; GH = Wachstumshormone; G = Glucagon; In = Insulin; TG= Triglyceride; ↑ = Zunahme; ↓ = Abnahme; Δ = Delta. Übernommen aus Davis & Hackney (2017)

Neben Insulin (Gupte et al., 2015) sind beispielsweise die menschlichen Wachstumshormone (Cook, 2004) indirekt beeinflusst und somit möglicherweise hormonellen Schwankungen während des MZ unterlegen. Das weibliche Sexualhormon aktiviert in der Skelettmuskulatur sowohl direkt als auch indirekt über die Phosphorylierung die AMPK-aktivierte Proteinkinase (D'Eon et al., 2005). Eine bedeutende Rolle spielt dabei die Familie der Peroxisom-Proliferator-aktivierten Rezeptoren, insbesondere PPAR $\alpha$  (Campbell et al., 2003; Fu et al., 2009) und PPAR $\delta$  (Fu et al., 2009). Sie verstärken diverse Prozesse, die eine Stoffwechselverschiebung von Kohlenhydraten weg hin zur vermehrten Fettoxidation führen. Dazu zählen unter anderem die Regulation von Pyruvatdehydrogenase-Kinase 4 (PDK4), Carnitin-Palmityltransferase 1 als langkettiger Fettsäuretransporter (CPT1), Fettsäurebindungsproteinen (FABPc) neben mitochondrialen  $\beta$ -Oxidationsenzymen wie Medium-Chain-Acyl-CoA-Dehydrogenase (MCAD) und dem trifunktionalen Protein- $\alpha$  (TFP $\alpha$ ) (Campbell et al., 2003; Fu et al., 2009; Kiens et al., 2004; Maher; et al., 2010). Eine Erhöhung der Lipidverfügbarkeit entsteht teils aus der erhöhten Expression des Transkriptionsfaktors SREBP1c (Fu et al., 2009). Über die Erhöhung von PPAR $\delta$  steigert Östrogen die im Skelettmuskel lokalisierte Lipoproteinlipase, sodass langkettige Fettsäuren besser im Skelettmuskel aufgenommen werden können (D'Eon et al., 2005).

Jedoch gibt es die Möglichkeit die meisten Unstimmigkeiten durch eine genauere Untersuchung der Hormoninteraktionen (Oosthuyse & Bosch, 2010) und der Beachtung der empfohlenen Zyklusüberwachung (Bernstein & Behringer, 2023) zu lösen. Außer Acht gelassen wird meist der vermutete Effekt der gegenseitigen Beeinflussung von Östrogen und Progesteron (Isacco et al., 2012). Denkbar ist deshalb eine positive Auswirkung der hohen Östrogenkonzentration auf die Leistung, wenn die Progesteronkonzentration vergleichsweise niedrig ist (McNulty et al., 2020). Die Leistungsfähigkeit müsste somit in der späten FP und während der Ovulation bei hohen Östrogen- und gleichzeitig niedrigen Progesteronwerten besser sein als in der mittleren LP, die durch hohe Östrogen- und Progesteronwerte gekennzeichnet wird (McNulty et al., 2020). Da die hormonellen Auswirkungen konzentrationsabhängig sind (Oosthuyse & Bosch, 2010), sollte auch das Verhältnis von Östrogen und Progesteron innerhalb des E/P-Verhältnis berücksichtigt werden (Oosthuyse et al., 2022). Vermutet wird ein notwendiger Anstieg von Östrogen auf die mindestens zweifache Menge des vorliegenden Progesterons, um metabolische Effekte hervorzurufen (D'Eon et al., 2002). Dies ist bisher weder bestätigt noch widerlegt (Hackney, 2021). Aufgrund großer inter- und intraindividuelle Schwankungen im reproduktiven Hormonstatus sollten veröffentlichte Daten aus Studien, die auf eine engmaschige

Messung mehrerer Zyklusphasen verzichtet haben, mit Vorsicht interpretiert werden, da sie mehrheitlich zu wenig aussagekräftigen Studien geführt haben (Elliott-Sale et al., 2020). Oft wurde eine Phase mit niedrigen Hormonkonzentrationen (1. Zykluswoche) einem hohen Zyklushaushalt (3. Zykluswoche) gegenübergestellt, sodass Untersuchungsergebnisse mit vielen Widersprüchen behaftet sind (Oosthuysen & Bosch, 2010). Dies könnte durch die Hinzunahme eines dritten Testzeitpunktes in der LFP ausgeräumt werden insofern die MZ-Phasen korrekt identifiziert werden (Janse et al., 2019).

### 1.3 Geschlechterspezifische Variation des Fettstoffwechsels

Die Fettreserven eines Menschen sind im Zusammenhang mit körperlicher Bewegung nahezu unerschöpflich, sodass die Nutzung von Energiesubstraten eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung sportlicher Leistungsfähigkeit spielt (Wolfe, 1998). Die Verbesserung der Fettoxidation wird somit als Trainings- und Forschungsziel ausdauerbasierter Aktivitäten angesehen (Mauder et al., 2018). Die Trainingsintensität könnte die wichtigste Determinante der Fettoxidationsrate des gesamten Körpers sein (Hackney et al., 1994) und somit den hormonellen Einfluss von Östrogen übersteigen (Hackney et al., 1994). Bei trainierten Personen wird eine parabolische Beziehung zwischen Trainingsintensität und daraus resultierender Fettoxidation angenommen (Brooks & Mercier, 1994a; Romijn et al., 1993). Abbildung 3 stellt das Crossover-Konzept (Mauder et al., 2018) dar, welches von Purdom et al. (2018) ergänzt wurde.

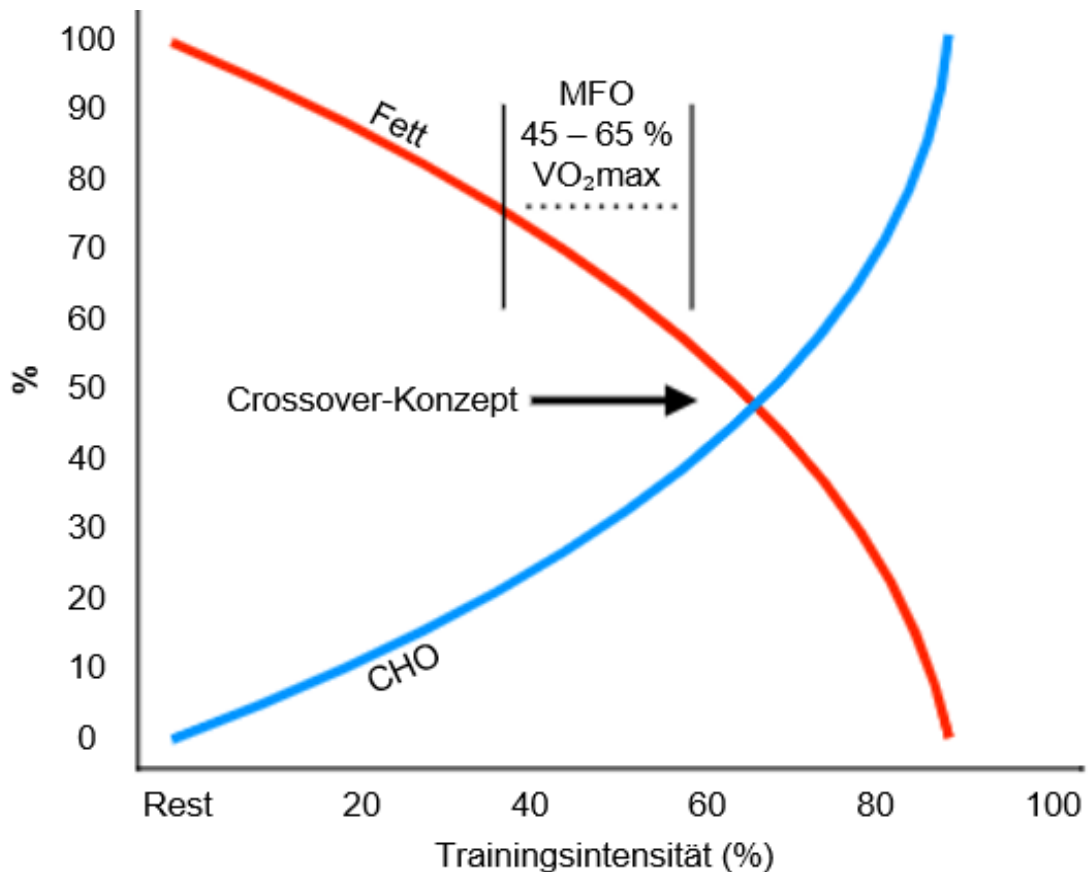


Abbildung 3: Crossover Konzept nach Brooks & Mercier (1994a): Mit steigender Trainingsintensität zunehmende Kohlenhydrat- und sinkende Fettoxidation. MFO = Punkt der maximalen Fettoxidation; CHO =

Bei submaximalen Intensitäten, welche unter 65% der  $\dot{V}O_2\text{max}$  liegen, gelten Lipide als vorherrschende Energiequelle (Achten et al., 2002; Volek et al., 2015). Der größte Anteil der Fettoxidation liegt am Punkt der maximalen Fettoxidation zwischen 45-65% der  $\dot{V}O_2\text{max}$  (Purdom et al., 2018). Intensitäten, welche darüber hinaus gehen, sind durch ein vermehrtes Rückgreifen auf Kohlenhydrate gekennzeichnet. Die verringerte Zufuhr von Fettsäuren in der Skelettmuskulatur könnte die Ursache für die verringerte Ganzkörperfettverbrennung bei hohen Intensitäten sein (Maunder et al., 2018). Im Geschlechtervergleich haben Frauen höhere Glukoseabbauraten (Friedlander et al., 1998) und eine gesteigerte intramyozelluläre Lipidoxidation (Roepstorff et al., 2002). Geschlechterspezifische Differenzen könnten bei steigender Trainingsintensität zunehmen (Blaak, 2001), weil die Fettoxidation sich bei einer Intensität von 60% der  $\dot{V}O_2\text{max}$  (Carter et al., 2001) stärker unterscheidet als bei 40% der  $\dot{V}O_2\text{max}$  (Horton et al., 1998). Der MZ macht anders als das Geschlecht im Ruhezustand keinen Unterschied im Substratmetabolismus (Isacco & Boisseau, 2017), obgleich es Differenzen zwischen den

gespeicherten Energiereserven insbesondere dem Glykogengehalt der Muskeln gibt (Hackney, 1990).

Assoziiert wird die LFP-induzierte Glykogeneinsparung mit der vermehrten Nutzung von Fett als Energiequelle (Hackney, 2021). Körperlich aktive Frauen tendieren hingegen zu einer erhöhten Fettaufnahme in der LP, sodass ein Anstieg der Glykogensynthese- und -speicherung daraus erfolgen könnte (Chappell & Hackney, 1997). Diese Theorie bestätigen mehrere Studien mit unterschiedlichen submaximalen Testverfahren (Devries et al., 2006; Hackney, 1999; Nicklas et al., 1989). Die Ganzkörpersubstratoxidation sowie die Glukoseverwertung variierten jedoch trotz höherer Glukosewerte in der MLP bei 90 Minuten mäßig intensiver körperlicher Belastung (50%  $\dot{V}O_2\text{max}$ ) nicht (Horton et al., 2002). Allerdings könnte die in der LP vermehrt oxidierte Aminosäure Leucin auch zur gesteigerten Glykogeneinsparung beitragen (Lariviere et al., 1994).

Innerhalb eines submaximalen Trainings in der LP und während der Ovulation wurde ein Anstieg zirkulierender Fettsäuren, der mit einem niedrigeren RER-Wert einhergeht neben signifikant niedrigeren Blutlaktatkonzentrationen gemessen (Ashley et al., 2000; Devries et al., 2006). Auch nach einer Manipulation der Sexualhormonspiegel bei jungen, nicht eumenorrhöischen Frauen wurde bei gleichem Gesamtenergieverbrauch eine erhöhte Fettverwertung bei erhöhter Östrogenkonzentration belegt (Hackney et al., 2000). Diese „Stoffwechselferschiebung“ könnte sowohl direkt als auch indirekt durch die Sexualhormone ausgelöst werden und für eine Lipidmobilisierung sorgen (Hackney et al., 2000), die zu höheren Trainingsvolumina und möglicherweise größeren Trainingsadaptionen führen könnte (Campbell & Febbraio, 2001a). Dies bestätigen die Ergebnisse einer Studie aus den 90er-Jahren, welche schlussfolgert, dass sich die Substratnutzung bei niedriger und mittlerer Intensität signifikant unterscheidet (Hackney et al., 1994). Eine erhöhte Fettoxidation in der MLP im Vergleich zur MFP wird mithilfe einer submaximalen Untersuchung von Freizeitsportlerinnen bei 90% der Laktatschwelle in den gleichen MZ-Phasen bestärkt (Zderic et al., 2001). Durch fehlende Testungen in der LFP wird hier der mögliche Einfluss von Progesteron nicht beachtet (Isacco et al., 2012). Zudem variiert bei ausdauertrainierten Probandinnen weder die Fettoxidation noch der RER zwischen der EFP und MLP (Williams et al., 2023) sowie der LFP (Ekberg et al., 2023). Vermeintlich bedeutsamer könnte die Ernährung im Vergleich zur MZ-Phase sein, da sich die Substratverwertung in Ruhe, bei 30% und 50% aber nicht bei 70% der  $\dot{V}O_2\text{max}$  nach einer Diät mit wenig Kohlenhydraten unterschied (Wenz et al., 1997). Die MZ-Phase war nur bei 50% der  $\dot{V}O_2\text{max}$  ausschlaggebend (Wenz et al., 1997). Auch bei 30% der aeroben Maximalleistung unterschied sich die Ventilation ausdauertrainierter Probandinnen

zugunsten der verminderten Ventilation in der LFP (Oxfeldt et al., 2024). Die bisherigen Forschungsergebnisse sind teils konträr und lassen deshalb keine zuverlässigen Schlüsse zu.

## 1.4 Auswirkung des MZ auf submaximale Parameter

Im Forschungskontext besteht eine klare Überlegenheit in der Untersuchung maximaler Parameter. In erster Linie wird die Ausdauerleistungsfähigkeit durch die maximale Sauerstoffaufnahme charakterisiert (Joyner & Coyle, 2008). Hinzu kommt die submaximale Nutzung der  $\dot{V}O_2\text{max}$  genauso wie die anaerobe Kapazität und die Arbeitsökonomie (Joyner & Coyle, 2008). Bisher hat sich eine vergleichsweise geringe Anzahl von Interventionen um das Thema der submaximalen Leistungsfähigkeit gedreht, obgleich submaximale Fitnessstests häufig bei TeamsportlerInnen zur adäquaten Bewertung physiologischer Zustände und Reaktionen genutzt werden, indem sie die Reaktion der Sportler auf einen standardisierten physischen Stimulus bewerten (Buchheit et al., 2020; Scott et al., 2018). Klassisch wird zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit im Labor mithilfe einer Spiroergometrie die Sauerstoffaufnahme gemessen. Um der Diskrepanz zwischen sportartspezifischer Leistungsentwicklung und Veränderungen der  $\dot{V}O_2\text{max}$  Beachtung zu schenken, wurden viele Messungen maximaler Werte mit submaximalen Messgrößen erweitert (Kindermann, 2004). Submaximale Parameter bringen diverse Vorteile mit sich (Löllgen & Leyk, 2018), da sie den Bereich charakterisieren in dem der Großteil der sportlichen Belastung abläuft. Sowohl Trainings- als auch Therapieeffekte werden eher und deutlicher erkannt (de Lannoy et al., 2018). Dennoch liegt der Schwerpunkt in den meisten Studien auf maximalen Parametern wie der  $\dot{V}O_2\text{max}$  und Einer-Wiederholungsmaxima. Ähnlich sehen jedoch die Ergebnistendenzen sowohl bei maximalen (Schumpf et al., 2023) als auch bei submaximalen Parametern aus. Bis dato bleiben signifikante Ergebnisse submaximaler Messgrößen, die speziell auf Frauen ausgerichtet sind, größtenteils aus.

Der Phasenvergleich zwischen der FP und der LP zeigt weder signifikanten Unterschiede bei der Messung der Laufökonomie bei 55% der  $\dot{V}O_2\text{max}$  (Williams & Krahenbuhl, 1997) noch bei der Durchführung von Zeitfahren (Forsyth & Reilly, 2008; Jürimäe et al., 2016; Lei et al., 2017; Oosthuysen et al., 2005; Redman et al., 2003; Shalfawi & El Kailani, 2021), jedoch leichte Tendenzen hin zur Leistungssteigerung in der LP (Lei et al., 2017; Shalfawi & El Kailani, 2021). Auch für die Laufökonomie bei 75%, 85% und 95% der LT von  $3,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  (Dokumacı & Hazır, 2019) wurden in der LP bessere Werte erzielt. Dem widerspricht eine Studie aus den 90er-Jahren, bei welcher die Laufökonomie bei 80% der  $\dot{V}O_2\text{max}$  in der mittleren LP niedriger ausfiel (Williams & Krahenbuhl, 1997). Ebenfalls

schlechter abgeschnitten haben freizeitsportlich aktive Frauen im Zeitfahren über acht Kilometer sowie zwei fünf minütigen Fahrradtests über- und unterhalb der anaeroben Schwelle in der mittleren LP (Freemas et al., 2021). Dies korrelierte mit einer schlechteren Stimmungslage und einem stärkeren Müdigkeitsgefühl im Zeitfahren (Freemas et al., 2021). Im Verhältnis dazu war die Leistung an der anaeroben Schwelle von freizeitsportlich aktiven Probandinnen signifikant besser in der LP verglichen mit der FP (Forsyth & Reilly, 2008). Dieses Ergebnis konnte von keiner weiteren Studie bestätigt werden (Bloch, 2013; Dean et al., 2003; Devries et al., 2006; Forsyth & Reilly, 2005; Goldsmith & Glaister, 2020; Mattu et al., 2020; Redman & Weatherby, 2004; Smekal et al., 2007), obgleich das subjektive Belastungsempfinden (RPE) der mittleren FP sich signifikant vom RPE der mittleren LP unterschied (Mattu et al., 2020). Es konnten lediglich Tendenzen der verbesserten Leistung innerhalb der LP (Redman & Weatherby, 2004; Smekal et al., 2007) gemessen werden, sodass keine Leistungsdifferenzen zwischen der LP und FP bei der Untersuchung von Laktatschwellen erwartet werden. Genauso wenig unterschied sich der Abbau des Laktats nach einer 45 minütigen Testung bei 50% der maximalen Wattleistung zwischen der mittleren FP und der MLP (Jurkowski et al., 1981).

Signifikante Unterschiede in der Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung traten in weiteren maximalen Testungen auf und sind entweder auf den Abfall der Sexualhormone oder das Unbehagen während der Blutungsphase zurückzuführen (Delp et al., 2024). Diese Ergebnisse könnten auch im submaximalen Bereich eine wichtige Rolle spielen. Der Menstruationszyklus sollte deshalb im Zusammenhang mit dem RPE in die Trainingssteuerung einbezogen werden (Delp et al., 2024), da der internale Load eine wichtige Rolle spielt und viele Frauen sich von ihrem MZ beeinträchtigt fühlen (Bruinvels et al., 2016).

## 1.5 Thematische Grundlagen der Messparameter

Für den Ausbelastungstest wurde der  $\dot{V}O_2$ -peak-Wert als maximaler  $\dot{V}O_2$ -Wert angenommen. Anhand dessen wurde die relative  $\dot{V}O_2$ max ermittelt. Mithilfe dieses Indikators, welcher laut Decroix et al. (2016) als aussagekräftigsten Parameter gesehen wird, wurden die Ausdauerleistungsfähigkeit der Teilnehmerinnen kategorisiert. Diese Einordnung wurde anhand eines weiteren Parameters, der maximalen aeroben Leistungsfähigkeit [W], überprüft (Decroix et al., 2016). Zudem wurden sowohl metabolische und ventilatorische Schwellen bestimmt, da die erste Schwelle die Grenze zwischen moderaten und intensivem Training und die zweite Schwelle die obere Grenze intensiver Belastung darstellt (Macintosh et al., 2021). Die Einteilung der Belastung sichert

für die submaximalen Folgetestungen die korrekte Zuordnung zur sog. *Heavy Exercise Intensity Domain* sowie der sog. *Severe Exercise Intensity Domain*. Die Ventilation steigt an der ersten ventilatorischen Schwelle im Vergleich zur  $\dot{V}O_2$ , während sie zur  $\dot{V}CO_2$  proportional bleibt (Macintosh et al., 2021). Die erste Laktatschwelle wird durch den ersten merklichen Anstieg des Blutlaktats über dem Ruhewert bezeichnet (Beaver et al., 1985). Ab der zweiten Schwelle wird die Störung der physiologischen Homöostase überproportional beschleunigt, sodass die Ventilation überproportional zur  $\dot{V}CO_2$  ansteigt. Dies wird als Respiratorischer Kompensationspunkt (RCP) bezeichnet (Macintosh et al., 2021). Primär lag das Augenmerk bei der Auswertung auf den ventilatorischen Schwellen, welche durch die Laktatschwellen ergänzt werden sollten. Hinzugezogen wurde ebenfalls der Verlauf der Herzfrequenz unter Belastung, da dieser im Rahmen submaximaler Testungen als zuverlässiges und sehr weit verbreitetes Maß (Shushan et al., 2022) für die Ausdauerleistung von TeamsportlerInnen gilt (Shushan et al., 2023). Zur Erkennung positiver Trainingseffekte scheint die Hf, als sehr empfindlicher Parameter hilfreich (Shushan et al., 2022).

Als Sauerstoffaufnahmekinetik wird die Geschwindigkeit des Anstiegs der  $\dot{V}O_2$  bei einer zunehmenden Arbeitslast bezeichnet, welche als Systemantwort auf einen bestimmten Stressor, beispielsweise eine Veränderung der Belastung, angesehen werden kann (Schikore, 2022). Bei gleichbleibender Intensität, wie es hier in den Intervallen der submaximalen Testungen der Fall ist, können zum Beispiel die MZ-Phasen miteinander verglichen werden. Die Sauerstoffaufnahmekinetik reagiert darauf zeitverzögert mit einem kurvenförmigen und exponentiellen Anstieg durch die Veränderung des Belastungslevels (Schikore, 2022) und konnte anhand dessen in den submaximalen Testungen modelliert werden. Diese sogenannten *Transitions* wurden für sechs Minuten durchgeführt, um ein Gleichgewichtszustand der  $\dot{V}O_2$  zu gewährleisten und so den Energieumsatz über die indirekte Kalorimetrie abschätzen zu können.

Zusätzlich zur Sauerstoffaufnahmekinetik wird die  $CO_2$ -Produktion, die Verwertung von Fetten und Kohlenhydraten sowie der RER betrachtet. Der RER gibt Auskunft über den Brennstoff, der vorwiegend oxidiert wird, da er sich aus dem Quotienten von abgegebenem Kohlenstoffdioxid zu aufgenommenem Sauerstoff zusammensetzt. Während Glukose zu einem RER von 1,0 führt, zeigt der RER bei der vorwiegenden Verstoffwechslung von Fetten einen Wert von 0,7. Synonym verwendet wird häufig der Begriff des Respirationsquotienten, da er das Austauschverhältnis von Gasen auf zellulärer Ebene widerspiegelt (Walsberg & Wolf, 1995). Der RER hilft zudem bei der Bestimmung des Energieverbrauchs über die indirekte Kalorimetrie. Die Methode ist die am häufigsten

verwendete Technik, welche in Echtzeit Aufschluss über den Energieaufwand durch Messung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxidproduktion gibt (Lam & Ravussin, 2017).

Hinzu kommt die Gross Efficiency (GE), welche das Verhältnis von Leistungsabgabe zur Leistungsaufnahme beschreibt und als aussagekräftigster Index die Schlüsseldeterminante in der Radfahrleistung bildet (Hopker et al., 2009). Die Steigerung der GE mit Werten von bis zu 25% gilt als Hauptziel im Leistungssport, da folgender Zusammenhang gilt: Je höher die Effizienz desto höher die Leistung (Passfield & Doust, 2000). Dies kann sich entweder in einem gleichen  $\dot{V}O_2$ -Wert bei einer höheren Geschwindigkeit bzw. einer größeren Leistungsabgabe oder in einem niedrigeren  $\dot{V}O_2$ -Wert bei gleichzeitig identischer Geschwindigkeit bzw. Leistungsabgabe zeigen. Die Leistungsabgabe der GE wird vom Ergometer ausgegeben, während der Leistungsabgabe  $\dot{V}O_2$  und Kohlenstoffdioxidproduktion quantifiziert. Bevor die  $\dot{V}O_2$  und  $\dot{V}CO_2$  der letzten Minute des IL analysiert werden können, werden die respiratorischen Gase für sechs Minuten gemessen. Das „Steady State“ im IL, welches mit einem Gleichgewichtszustand assoziiert wird, muss gewährleistet sein, da dies Voraussetzung für die Ermittlung der Effizienz der Radleistung anhand des Gasaustausches ist (Hopker et al., 2009). Ein Liter  $\dot{V}O_2$  entspricht 21 kJ. Entscheidend ist neben der  $\dot{V}O_2$  [l/min] für die Berechnung der GE die Wattzahl, welche den Widerstand auf dem Fahrradergometer bestimmt. Um die Probandinnen im Längsschnitt intraindividuell vergleichen zu können wird in den sechs submaximalen Testungen das gleiche Protokoll gefahren.

Ergänzend wurde zur Bewertung des subjektiven Belastungsempfindens, der als valide geltender Parameter (Scherr et al., 2013), der RPE verwendet, da er in vielen Studien zur Abschätzung kardiovaskulärer und muskulärer Anstrengung dient (Borg, 1982; Williams, 2017). Die Skalierung der Borg-Skala zwischen sechs (keine Anstrengung) und zwanzig (maximale Anstrengung) wurde ausgewählt, da sie beim Radfahren (Green et al., 2006) sehr gut mit der Hf korreliert.

Minimalinvasiv wurde neben der Bestimmung der Blutlaktatkonzentration über die Abnahme am Ohrläppchen Blut zur Anwendung der Metabolomics-Technik entnommen. Das hochempfindliche Verfahren der Metabolomics-Technologie kann Veränderungen von kleinsten Molekülmetaboliten (Molekulargewicht <10 kDa) im Körper mithilfe der Massenspektrometrie oder der Kernspinaresonanzspektroskopie ermitteln (Beger et al., 2016) und wird zunehmend im Rahmen der Sportwissenschaft genutzt (Kelly et al., 2020). In dieser Studie werden vorwiegend die Konzentrationen der Progesteron- und

Testosteronkonzentration der Metabolomics-Daten zur Phasenverifikation genutzt. Da diese Methode nicht dem Goldstandard bei der Bestimmung des Hormonhaushaltes entspricht wurde eine venöse Blutabnahme vor dem Test durchgeführt, um nach Abschluss der Studie Östrogen, Progesteron, Testosteron, LH und FSH zu den bestimmten Testzeitpunkten zu bestimmen. Anhand dessen werden die Zyklusphasen endgültig verifiziert.

## 1.6 Ziel der Arbeit

Die Absicht dieser quantitativen Studie besteht in der Untersuchung eines möglichen Einflusses der Zyklusphasen, die durch unterschiedliche Hormonkonzentrationen gekennzeichnet sind, auf Determinanten der Leistungsfähigkeit bei aerober Beanspruchung. Hier soll jedoch abgesehen von der Fettverbrennung der wichtigste submaximale Parameter, die Sauerstoffaufnahmekinetik, im Vordergrund stehen. Zusätzlich zur Sauerstoffaufnahmekinetik wird die CO<sup>2</sup>-Produktion, die Verwertung von Fetten und Kohlenhydraten mithilfe des RER betrachtet. Die Evaluierung folgender Forschungsfragen steht im Vordergrund:

- Inwiefern besteht ein Unterschied im Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel unter körperlicher Belastung zwischen den Menstruationsphasen?

H1.1: Es besteht ein signifikanter Unterschied im Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel unter körperlicher Belastung zwischen den MPs.

H1.0: Es besteht kein signifikanter Unterschied im Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel unter körperlicher Belastung zwischen den MPs.

- Inwiefern besteht ein Unterschied in der Sauerstoffaufnahmekinetik unter körperlicher Belastung zwischen den MPs?

H2.1: Es besteht ein signifikanter Unterschied in der Sauerstoffaufnahmekinetik unter körperlicher Belastung zwischen den MPs.

H2.0: Es besteht kein signifikanter Unterschied in der Sauerstoffaufnahmekinetik unter körperlicher Belastung zwischen den MPs.

Die Ergebnisse der Studie sollen das vorhandene Wissen ergänzen und weitere Rückschlüsse auf den Einfluss von Östrogen und Progesteron auf submaximale Parameter der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit in unterschiedlichen Belastungszonen zulassen.

## 2 Methodik

Neben dem Studiendesign (2.1) und den Ein- und Ausschlusskriterien der Probandinnen (2.2) werden in diesem Kapitel die Phasenverifikation (2.3), der Ablauf der Leistungsdiagnostik (2.4) und der submaximalen Testungen (2.5) sowie die Datenverarbeitung (2.6) und die Statistik (2.7) der Querschnittsstudie erläutert.

### 2.1 Studiendesign

Innerhalb der Studie wurden im Anschluss an die Genehmigung des Forschungsvorhabens Nr. 01072 durch die Ethikkommission (siehe Anhang A) 27 Studienteilnehmerinnen rekrutiert, deren Eignung zur Studienteilnahme überprüft wurde (n = 23). Die Studie wurde mithilfe eines wiederholten Messdesigns, wie es im Bereich der Menstruationsforschung empfohlen wird (Schmalenberger et al., 2021), durchgeführt. Der Testablauf wird in Abbildung 4 dargestellt.

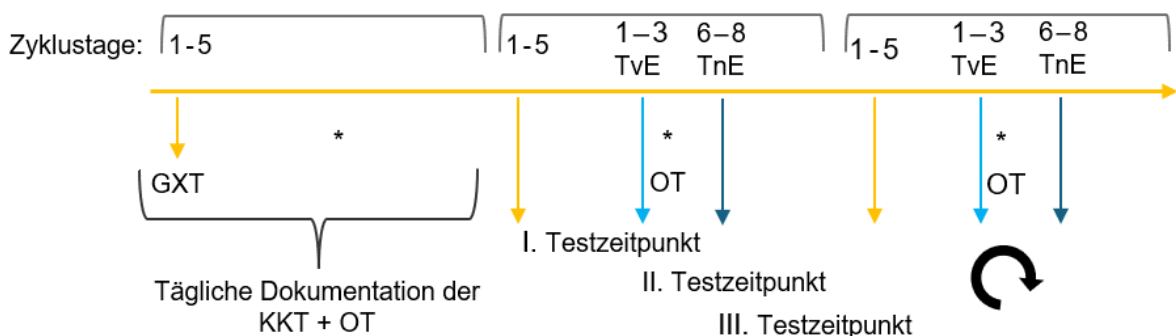


Abbildung 4: Testablauf der Studie. \* = Zeitpunkt des Eisprungs; GXT = Stufentest; KKT = Körperkerntemperatur; OT = Ovulationstest; TvE = Tage vor Eisprung; TnE = Tage nach Eisprung; ♻️ = Testwiederholungen.

Die Studie fand zwischen Januar und Juni im Jahr 2024 statt. Es fanden in Summe sieben Testungen zur Datenerhebung an unterschiedlichen Zeitpunkten innerhalb des ersten, zweiten und dritten Zyklus (siehe Abbildung 2) im ÖISM (Auf der Schmelz 6, 1150 Wien) und im Labor von Leistungssport Austria (Johann-Steinböck-Str. 19, 2345 Brunn am Gebirge) statt. Die Testungen dauerten pro Messung inklusive der Vorbereitungszeit ca. eine Stunde, sodass die Probandinnen inklusive der Vorbesprechung, dem Stufentest und dem Messen und Aufzeichnen von Körperkerntemperatur und der LH-Konzentration einen Zeitaufwand von acht Stunden hatten.

Im ersten Zyklus fand ein maximaler Ausbelastungstest in Form eines Stufentests zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit an den Tagen eins bis fünf statt. Außerdem wurden die Körperkerntemperatur sowie die Ergebnisse der Ovulationstests, auf welche in

Kapitel 2.3 näher eingegangen wird, dokumentiert. Die weiteren Termine wurden ebenso individuell vereinbart und orientieren sich am weiblichen Zyklus der Teilnehmerinnen, da eine Testung jeweils an den Tagen eins bis fünf des Folgezyklus in der EFP, eine weitere Messung ein bis drei Tage vor dem Tag des ermittelten Eisprungs und somit in der LFP und die letzte Messung sechs bis acht Tage nach der Ovulation in der MLP absolviert werden soll. Die EFP kann an Zyklustag 1 – 5 mit der MP synonym verwendet werden. Der dritte Zyklus diente als Kontrollzyklus und vervollständigte somit das Querschnittsdesign. Um einen möglichen Trainingseffekt auszuschließen, starteten nicht alle Probandinnen die Testzyklen in ihrer ersten Zykluswoche. Sie begannen stattdessen mit dem zweiten (n = 6; endgültig inkludiert: n = 2) oder dritten Testzeitpunkt (n = 2; endgültig inkludiert: n = 2) innerhalb ihres Zyklus und hängen die vorherigen Tests im Anschluss an.

Um die Testungen ermüdungsfrei zu starten, sollte am Tag vorher kein oder nur leichtes Training absolviert werden. Da der Einfluss des Zeitpunkts der Nahrungsaufnahme vor der Testung denkbar ist (Rothschild et al., 2020), wurden die Probandinnen dazu aufgefordert ihre letzte größere Mahlzeit drei Stunden vor Testbeginn einzunehmen. Bei Testungen, die morgens stattgefunden haben, ist die Umsetzung dessen schwierig, sollte sich aber laut bisherigem Forschungsstand nicht auf die Substratoxidation auswirken (Rothschild et al., 2020). Zudem durfte drei Stunden vorher kein Koffein konsumiert werden, da sich dieser positiv auf die sportliche Leistungsfähigkeit auswirken kann (Guest et al., 2021) und Koffein als Einflussfaktor ausgeschlossen werden sollte. Da Alkohol ebenfalls einen Effekt auf die Leistung haben könnte (Suter & Schutz, 2008), sollte der Konsum von Alkohol 24 Stunden vor den Testungen unterbunden werden. Die Probandinnen wurden zudem gebeten ihre Ernährung 24 Stunden vor den submaximalen Testungen mithilfe eines Ernährungsprotokolls (siehe Anhang B) zu dokumentieren und möglichst identisch vor den weiteren Testungen zu wiederholen, da fehlende Ernährungsinformationen die Ursache kontroverser Ergebnisse sein könnten (Isacco et al., 2012).

## 2.2 Probandinnen

Im Rahmen der Studie der Universität Wien wurden mindestens 19 gesunde, regelmäßig sportlich-aktive Frauen gesucht, die einen natürlichen Zyklus haben.

Folgende Einschlusskriterien waren entscheidend:

- Frauen im Alter zwischen 16 und 40 Jahren,
- regelmäßiger MZ zwischen 21-35 Tagen (Vena & Paschou, 2021),
- regelmäßig sportlich-aktiv – mind. drei Mal pro Woche eine Stunde moderates Training im Bereich Ausdauer oder Spisportarten,
- aktuell und in den letzten drei Monaten vor Studienteilnahme keine hormonelle Verhütung,
- Motivation an Leistungstest mitzumachen,
- Schriftliche Einverständnis zur Teilnahme an der Studie bei der Einverständniserklärung und
- Einverständnis zu einer Ergometrie mit körperlicher Ausbelastung mit Unterschrift am Dokument „Anamnesebogen“.

Demgegenüber sehen die Ausschlusskriterien folgendermaßen aus:

- Einnahme hormoneller Verhütungsmittel wie bspw. Hormonpille oder -spirale,
- Ausbleiben oder Unregelmäßigkeit des MZ in den untersuchten Zyklen sowie Schwangerschaft,
- Verletzungen oder kardiovaskuläre, pulmonale, immunologische oder metabolische Erkrankung(en), die eine Teilnahme aus gesundheitlicher Sicht nicht erlauben,
- akute Infektionen innerhalb der letzten sieben Tage vor dem ersten Messzeitpunkt sowie während der gesamten Studiendauer oder
- Einnahme von Medikamenten, welche die Messungen beeinflussen könnten oder laut WADA-Code im Training und/oder Wettkampf verboten sind.

Die Rekrutierung der Teilnehmerinnen erfolgte über universitäre Kurse, das Aushängen von Plakaten im sportwissenschaftlichen Institut der Universität Wien sowie die sozialen Medien. Obgleich es eine Vorgabe zur Trainingshäufigkeit der Probandinnen gab, lag diese mit drei Mal pro Woche eine Stunde moderatem Training nicht weit über der allgemeinen Empfehlung zur Bewegung der ACSM, in welcher an mindestens fünf Tagen pro Woche 30 Minuten moderate Intensität empfohlen werden. Es wurden sowohl Team- als auch Ausdauersportlerinnen einbezogen.

Sobald die Probandinnen keinen regelmäßigen MZ hatten, wurden sie nach möglichen Gründen für die Veränderung ihrer Zyklusdauer gefragt. Zudem wurde der Körperfettanteil

mithilfe des geeichten Hautfaltenmessers 'Harpender Skinfold Caliper' (Baty International, Burgess Hill, England) bis auf 0,2 mm genau gemessen.

## 2.3 Phasenverifikation

Bei einer Vorbesprechung, in welcher vorab definierte Ein- und Ausschlusskriterien und der Gesundheitszustand überprüft wurden, wurden mindestens acht Ovulationsstreifen „DAVID“ (MedNet EC-REP GmbH, Münster, Deutschland) sowie ein Dokument „Aufzeichnungen zum ersten Zyklus“ (siehe Anhang C-E) ausgeteilt. Das Ovulationsset hat laut Angaben der Firma eine Genauigkeit von 99,5% zur Detektierung des LH-Anstiegs kurz vor der Ovulation. Obwohl falsch-positive Ergebnisse bei LH-Urintests zur Bestimmung des Ovulationszeitpunktes selten zu finden sind, besteht die Gefahr der falschen Durchführung oder Interpretation seitens der Teilnehmerinnen (Wideman et al., 2013), sodass die richtige Anwendung während der Vorbesprechung vermittelt wurde. Der Durchführungszeitpunkt der Ovulationstests sowie die exakte Anzahl der Teststreifen wurde individuell an die Zykluslänge der Probandinnen angepasst. Zur Bestätigung des Ovulationszeitpunktes sollte innerhalb des ersten Zyklus täglich die Körpertemperatur mit einem einheitlichen Fieberthermometer (UEBE Medical GmbH, Köhlsheim, Deutschland) dokumentiert werden (siehe Anhang C). Falls die Anzahl der Ovulationsstreifen nicht ausreichend war, wurden den Probandinnen weitere zur Verfügung gestellt, da die Messung der basalen Körpertemperatur nur als Hilfsmittel zur Bestimmung des Ovulationszeitpunktes herangezogen werden sollte (Barron & Fehring, 2005). Geholfen haben Trackingapps wie die App „Flo“ (Flo Health, London, United Kingdom) oder die temperaturgesteuerte App „Femometer“, welche von den Probandinnen bereits vor Beginn der Studie verwendet worden sind, sodass sie MZ-Informationen über viele individuelle Zyklen bereitstellen. Zur Planung eines zusätzlichen Tests aufgrund starker Schwankungen der individuellen Zyklusdauer wurde ebenfalls die App „Femometer“ (Printon, US) zur Verifizierung des Ovulationszeitpunktes miteinbezogen. Innerhalb des Studienverlaufs waren die Ovulationskits „DAVID“ weder in der Apotheke noch online verfügbar, sodass wir danach auf ein anderes Modell der gleichen Firma (MedNet EC-REP GmbH, Münster, Deutschland) zurückgreifen mussten. Die daraufhin verwendeten Teststreifen haben eine Sensitivität von 20 mIU/ml.

Bei zwei Probandinnen kam es zu einem anovulatorischen Zyklus im ersten Zyklus, sodass die Detektionsphase sich um einen Monat verlängert hat, da es auch bei eumenorrhöischen Frauen zu einer Anovulation innerhalb von zehn bis zwölf MZs eines Jahres kommen kann (Cole et al., 2009; Marcinkowska, 2020). Auch während der Testzyklen erhielten die

Probandinnen vier Ovulationsstreifen, um bereits während der laufenden Testphase einen Anhaltspunkt zu haben, ob die MZ-Phasen richtig bestimmt worden sind. Darüber hinaus füllten die Probandinnen eine Tabelle zur PMS-Symptomatik (siehe Anhang E) aus, da laut Literatur sieben von zehn Sportlerinnen unter körperlichen und geistigen Symptomen während dieser Zeit leiden (Brown et al., 2021; Martin et al., 2018).

## 2.4 Leistungsdiagnostik

Zur Ermittlung der ersten und zweiten ventilatorischen Schwelle sowie der maximalen aeroben Leistung im Stufenfest diente die erste Messung. Der Ablauf der Ersttestungen wird in Abbildung 5 illustriert.

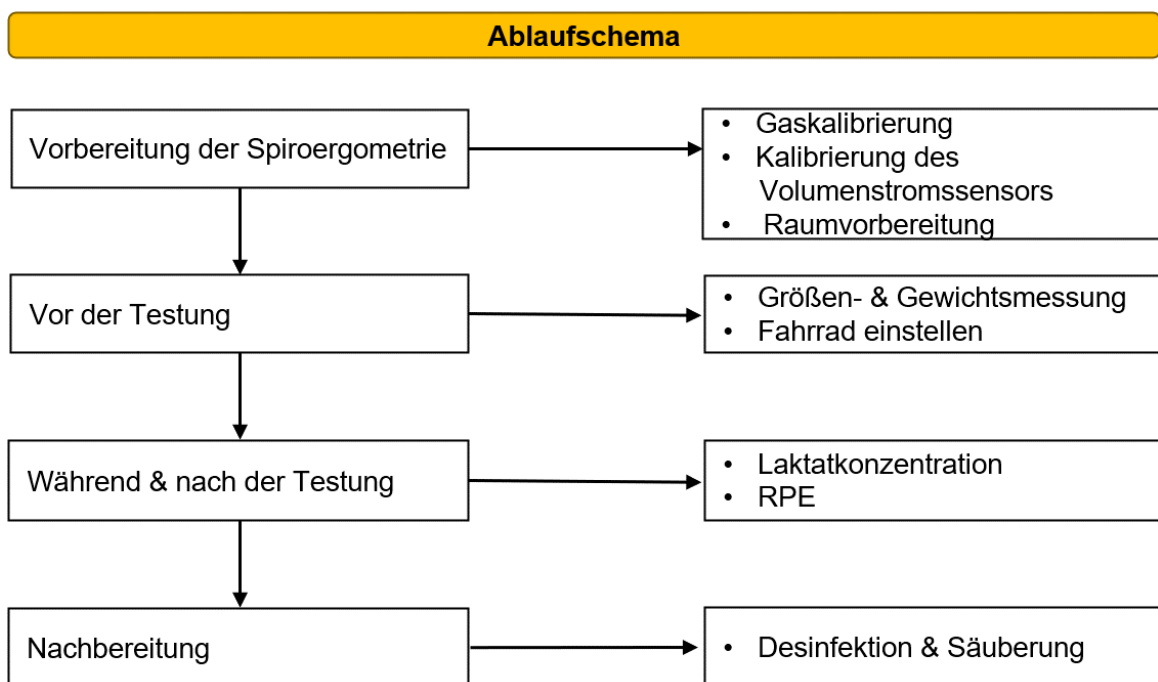


Abbildung 5: Zusammenfassung des Ablaufschemas der Ersttestungen.

Die Testungen aller Probandinnen wurden auf dem Fahrradergometer (Lode Excalibur, Groningen, Niederlande) ausgeführt. Während der Messungen kam eine mobile Spiroergometrie (Spirorergometrie: MetaMax 3B-R2, Cortex Medical GmbH, Leipzig, Deutschland), die vor jedem Test mindestens 30 Minuten lang aufgewärmt und gemäß den Empfehlungen des Herstellers kalibriert wurde, zum Einsatz. Die Testungen wurden allesamt von geübten VersuchsleiterInnen durchgeführt. Alle Übungsversuche wurden in einem Raum mit standardisierten Umgebungsbedingungen (20-22°C; 30%-40% relative Luftfeuchtigkeit) durchgeführt.

Vor Beginn der Testungen wurden Daten zur Körperkomposition gesammelt. Die Größe [cm] wird mit einem Stadiometer (Seca GmbH & Co kg., Hamburg, Deutschland) auf 0,5 cm genau gemessen, während das Gewicht [kg] auf der Arztwaage (Seca GmbH & Co kg., Hamburg, Deutschland) bis zu 0,1 kg genau abgelesen werden konnte. Außerdem wurde sowohl die Sattel- als auch die Lenkerhöhe des Fahrradergometers individuell angepasst.

Zur Gewährleistung des gleichmäßigen Fahrens fuhren die Probandinnen während aller Testungen mit einer von ihnen ausgewählten Kadenz [rpm], die um jeweils fünf Umdrehungen abweichen durfte. Die Belastung wurde abgebrochen sobald die Testperson trotz verbaler Aktivierung der Versuchsleiterin unter diese Grenze gefallen ist oder die Probandin Symptome wie Schwindel oder Übelkeit verspürte. Davon abgesehen wurden die Probandinnen dazu angehalten während der Spiroergometrie weder zu reden noch zu lachen und bei Hustreiz möglichst alles in einem Mal auszuhusten, um eine dauerhafte Verzerrung der Ausgabewerte zu vermeiden.

Die Probandinnen fuhren zwei Minuten ohne jegliche Last und starteten anschließend mit 20 W, die in jeder Stufe um weitere 15 W erhöht wurde (Protokoll s. Anhang F). Zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration wurde in Ruhe, nach jeder Stufe und drei, sechs und neun Minuten nach der Belastung 20  $\mu$ L Blut abgenommen bevor sie im Laktatmessgerät ‚Biosen C-Line‘ (EKF-diagnostic GmbH, Barleben, Deutschland) ausgewertet wurden. Zudem sollten mögliche Veränderungen des äußeren Erscheinungsbildes der Probandinnen neben ihrer Hf überwacht werden, um bei unerwarteten Komplikationen den Belastungstest frühzeitig abubrechen (Löllgen & Leyk, 2018). Diese wurde kontinuierlich mithilfe einer Polar H10 (Polar Electro Austria GmbH, Wien, Österreich) aufgezeichnet. An allen Testtagen wurde der Session-RPE direkt nach Beendigung der Testung abgefragt, um Erkenntnisse über mögliche Differenzen der wahrgenommenen Anstrengung der Teilnehmerinnen zu gewinnen.

Anschließend wurden alle Geräte den Herstellervorgaben entspricht gereinigt. Zur Auswertung des Stufentests wurde eine Excel-Arbeitsmappe mit Makros verwendet. Dazu wurden die Ausgabewerte der Spiroergometrie bei jeder Laststufe aus den Mittelwerten der letzten 30 s der Messung ermittelt.

## 2.5 Ablauf der submaximalen Testungen

Nachfolgend wurden sog. *Square wave transitions* durchgeführt, bei welchen die Belastung durch das Ergometer schlagartig von einer sehr niedrigen Intensität (20 Watt) auf höhere Intensitäten geschaltet wurde. Eine dieser *Transitions* sollte in der *Heavy Exercise Intensity*

*Domain* gefahren werden (25% der Differenz zwischen erster ventilatorischen Schwelle und der Maximalleistung aus dem Stufentest) und die andere Transition in der *Severe Exercise Intensity Domain* (d.h., 65% der Differenz zwischen ersten ventilatorischen Schwelle und der Maximalleistung aus dem Stufentest), sodass sichergestellt werden konnte, dass die Höhe der Intervalle an die persönliche, aerobe Leistungsfähigkeit angepasst ist. Sobald der respiratorische Kompensationspunkt über der *Severe Exercise Intensity Domain* lag, wurde die Höhe der *Severe Exercise Intensity Domain* für die submaximalen Testungen manuell angepasst, sodass sichergestellt wurde, dass die Probandin sich im HI in der *Severe Exercise Intensity Domain* befand. Das Protokoll befindet sich im Anhang (siehe Anhang G).

Die nachfolgende Abbildung spiegelt das Ablaufschema, welches bei allen submaximalen Testungen eingehalten wurde, wider (Abbildung 6). Im Vergleich zum Ablauf bei den Ersttestungen unterscheidet sich dieses Schema nur in den folgenden Schritten zur Bestimmung der Hormonkonzentrationen: Hinzufügen der Blutabnahme, dem Erstellen des Blutbildes, dem Nutzen der Microshells sowie dem Zentrifugieren und Pipettieren des Blutes. Die Ausführungen bezüglich der weiteren Schritte aus Kapitel 2.4 gilt auch für die submaximalen Testungen.

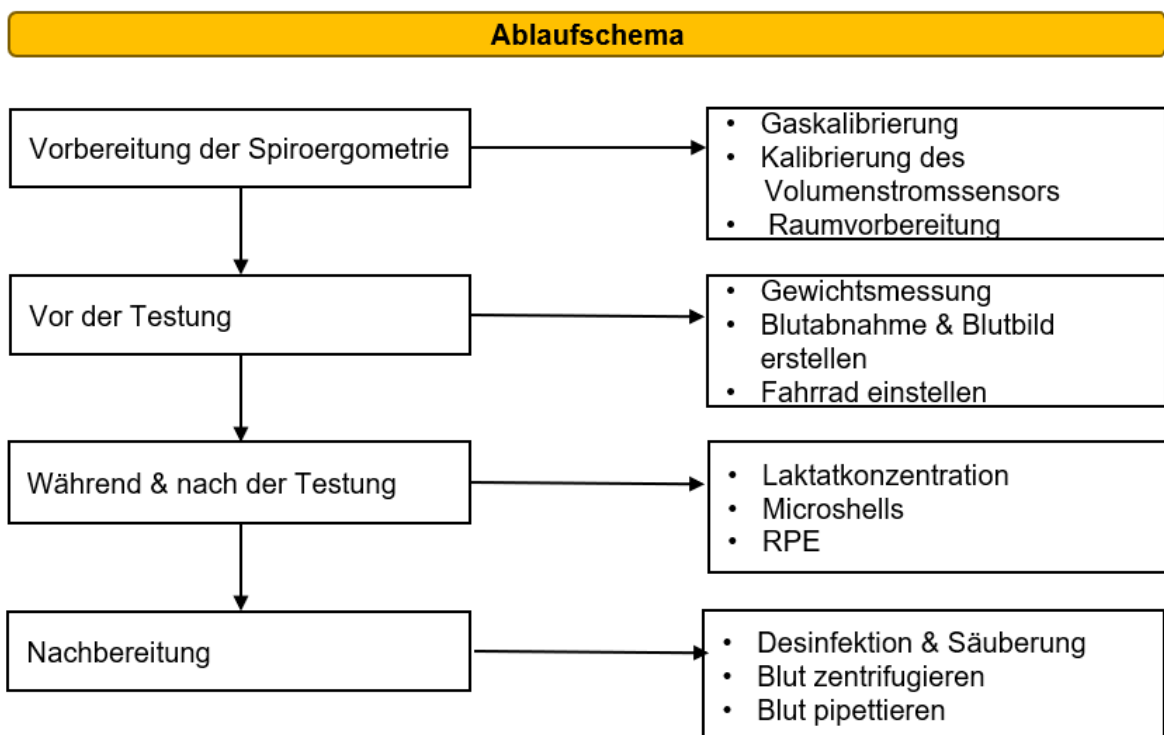


Abbildung 6: Zusammenfassung des Ablaufschemas der submaximalen Testungen.

Vor jedem Test wurde eine venöse Blutabnahme (ca. 10 ml) von geeignetem Fachpersonal durchgeführt. Bevor das Blut zur Serumseparation zehn Minuten bei 2000 rpm zentrifugiert

wurde (Andreas Hettich GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Deutschland), gerann es, sodass das Serum anschließend abgetrennt und bis zur Analyse im Labor bei -40 C eingefroren wurde. Zusätzlich wurde ein Blutbild mit dem Blutbildanalysegerät 'Swelab' erstellt (Boule Medical AB, Spånga, Schweden). Obgleich es bisher keinen eindeutigen Konsens über den erforderlichen Mindestwert des Progesteronwertes in der LP gibt, wird die Schwelle vorheriger Studien (Hashimoto et al., 2014; Janse et al., 2012; Vaiksaar et al., 2011) zur Bewertung der Hormonkonzentrationen übernommen. Der Grenzwert von  $16 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$  soll den Einschluss anovulatorischer Zyklen verhindern (Janse et al., 2019), sodass Probandinnen aus der Stichprobe ausgeschlossen werden, sobald sie den Grenzwert in der MLP nicht erreichen. Im Gegensatz dazu müssen die Blutwerte in der EFP niedrige Östrogen- und Progesteronkonzentrationen sowie in der LFP höhere Östrogenwerte als in der EFP und MLP bei gleichzeitiger Progesteronkonzentration, welche  $16 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$  nicht überschreiten darf, zeigen (Janse et al., 2019). Die Einordnung der Testosteronkonzentrationen aus den Metabolomicsdaten wird sich sobald die Daten vorliegen an vorliegender Literatur orientieren (Janse et al., 2019).

Bei allen submaximalen Testungen wurde aus dem Ohrläppchen  $20 \mu\text{L}$  Blut zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration gemäß Protokoll (s. Anhang G) am Ende des niedrigen Intervalls sowie der darauffolgenden Baseline, direkt nach dem Ende des Ergometertests sowie drei, sechs und neun Minuten nach Belastungsende entnommen. Zur Analyse der Metabolite wurde minimalinvasiv mithilfe der Mitra Clamshells (Neoterys, LLC, Torrance, USA) in Ruhe, nach dem ersten und zweiten Intervall sowie 10 Minuten nach Beendigung der Testung zusätzlich  $10 \mu\text{L}$  entnommen. Zudem wird nach dem IL, dem höheren Intervall und nach Beendigung der Testung der RPE protokolliert. Die Sauerstoffaufnahmekinetik wurde mithilfe der frei zugänglichen App „ExPhyslab“ ausgewertet, indem  $\dot{V}\text{O}_2$ -Daten für jeden einzelnen Atemzug modelliert werden. Wichtige Informationen zur Berechnung sind die Anzahl der zu analysierenden Übergänge sowie die Dauer (s) der Intervalle. Die Übergänge wurden jeweils einzeln berechnet für das IL und das IH, da eine sechsminütige Übergangsphase zwischen den Intervallen im Programm nicht zulässig ist, sodass die Datensätze einer Testung geteilt worden sind. Die dazugehörige Formel lautet:

- $\dot{V}\text{O}_2(t) = \text{baseline} + \text{amplitude} \cdot (1 - e^{-(t - \text{TD})/\tau})$

Die Daten können dabei direkt exportiert werden und sind auf unterschiedliche Anbieter wie den hier verwendeten Cortex-Systemen eingestellt. Genutzt wird die Zeitkonstante  $\tau$  [s]. Zur Analyse der stoffwechselrelevanten Parameter wurde der

Gesamtenergieverbrauch als auch der Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel für die *Heavy Exercise Intensity Domain* mit folgendermaßen errechnet:

- Berechnung des TEE:  $EE \text{ (kcal/min)} = (3.869 \times \dot{V}O_2) + (1.195 \times \dot{V}CO_2)$  (Brouwer, 1957)
- Berechnung der Kohlenhydratoxidation :  $EE \text{ (kcal/min)} = (4.21 \times \dot{V}CO_2 - 2.962 \times \dot{V}O_2) \times 4.07$  (Péronnet & Massicotte, 1991)
- Berechnung der Fettoxidation:  $EE \text{ (kcal/min)} = (1.695 \times \dot{V}O_2 - 1.701 \times \dot{V}CO_2) \times 9.75$  (Péronnet & Massicotte, 1991)

Dazu wurde der Durchschnitt der *Breath-by-breath-Daten* der letzten Minute (Minute 8-9 des Protokolls) der *Heavy Exercise Intensity Domain* berechnet. Ausreißer innerhalb der Datenpunkte wurden wie für die Bestimmung der *Severe Exercise Intensity Domain* manuell ausgeschlossen. Für die *Severe Exercise Intensity Domain* wurde mithilfe der Atemzüge in der letzten Minute (Minute 20-21 des Protokolls) weder die Kohlenhydrat- und Fettoxidation noch die GE bestimmt, weil dort kein Gleichgewichtszustand mehr bestand und die Fettverbrennung nicht mehr dominierte. Die Werte wurden anschließend von der Einheit kcal/min in g/min umgerechnet, da diese in ähnlichen Studien (Ekberg et al., 2023; Williams et al., 2023) genutzt wurde und die Vergleichbarkeit vereinfacht wird. Die Gleichung für die Ermittlung der GE beruht auf der individuellen Wattzahl im IL und lautet wie folgt:

- Berechnung der GE (%):  $(3600 \cdot IL) / (\dot{V}O_2 \cdot 21 \cdot 60)$

## 2.6 Datenverarbeitung

Die Studienteilnahme erfolgte auf freiwilliger Basis, sodass die Studie ohne Angabe von Gründen jederzeit seitens der Athletin abgebrochen werden konnte. Das schriftliche Einverständnis zur Teilnahme an der Studie sowie das Einverständnis zu einer Ergometrie mit körperlicher Ausbelastung mit Unterschrift am Dokument „Anamnesebogen“ sind angehängt (Anhang H und I). Es wurden neben dem Alter, Geschlecht, Körpergröße und -gewicht Daten der sportlichen Aktivität und der absolvierten Leistungstests sowie Fragen zum Menstruationszyklus erhoben. Bei der pseudoanonymisierten Datenverarbeitung wurde die Verwendung von Namen im gesamten Prozess unterlassen. Die Dokumentation erfolgt anhand von Kennziffern, die den Studienteilnehmerinnen zugeordnet wurden und in einer weiteren passwortgeschützten Datei den erhobenen Leistungsdaten korrekt zugewiesen wurden. Acht Wochen nach Beendigung der letzten Testung wurde die Zuordnungsdatei unwiderruflich gelöscht. Die Auswertung erfolgte somit durch die Codierung der Athletinnen indirekt personenbezogen. Im Gegensatz zu den gesamten

anonymisierten Studienergebnissen hätten die Teilnehmerinnen ihre persönlichen Leistungsdaten nur acht Wochen nach der letzten Messung einsehen können. Im Nachgang wurden neben dem Auswertungsprozess Abschlussgespräche mit den Probandinnen geführt, welche ihnen dank der persönlichen Studienergebnisse und daraus folgenden Erkenntnissen einen Mehrwert in der Trainingsplanung liefern sollten.

## 2.7 Statistik

Nachfolgend wird neben dem Zustandekommen der Stichprobengröße das Verfahren der Datenauswertung beschrieben. Bei einem Alphalevel von  $P > 0.050$  und einer statistischen Stärke von 80% müssen mindestens 13 Probandinnen den gesamten Testablauf beenden, damit der kleinste bedeutsame Unterschied von 3 s für die  $\dot{V}O_2$  ( $25 \pm 5$  s vs.  $22 \pm 5$  s,  $r = 0.75$ ) beachtet werden. Vergleichbare Stichprobengrößen wurden auch von vorherigen Studien verwendet (Dokumacı & Hazır, 2019; Freemans et al., 2021; Mattu et al., 2020). Da bis zu 40% eumenorrhöischer Frauen anovulatorische Zyklen haben und diese exkludiert werden müssen (Janse et al., 2019), sollte die Stichprobengröße anfangs wenigstens 19 Sportlerinnen umfassen, da eine geringere Teilnehmerinnenanzahl eine verminderte Aussagekraft über mögliche zyklusbasierte Veränderungen zur Folge hat (Janse et al., 2019).

Mithilfe des Shapiro-Wilk-Verfahrens wurden die Werte auf Normalverteilung geprüft. Deskriptive Daten wurden bei Normalverteilung als Mittelwert und Standardabweichung ( $MW \pm SD$ ) angegeben. Zusätzlich sowie bei nicht-normalverteilten Daten wurden Median und Interquartilsabstand genutzt. Mittelwerte und Standardabweichung ( $MW \pm SD$ ) wurden in der EFP für die inkrementellen Testvariablen und in den verschiedenen MZ-Phasen für die submaximalen Variablen aufgeführt, insofern sie normalverteilt waren. Da alle Variablen normalverteilt waren, wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) zur Untersuchung der Unterschiede der Messparametern zwischen den Testzeitpunkten der MP, LFP und MLP durchgeführt. Die statistische Signifikanz wurde auf  $\alpha < 0,05$  festgelegt. Zur Überprüfung der Sphärizität wurde der Mauchly-Test angewendet, sodass bei fehlender Homogenität der p-Wert mit Greenhouse-Geisser berechnet wurde. Die Effektstärken wurden als partielle Eta-Quadrat-Werte innerhalb der ANOVA mit wiederholten Messungen zum Quadrat ausgedrückt ( $\eta^2_p$ ; klein  $\geq 0,01$ , mittel  $\geq 0,06$ , groß  $\geq 0,14$ ) (Cohen, 2013). Zudem wurden Bonferroni-Post-hoc-Analysen durchgeführt. Zur Erforschung intraindividuelle Unterschiede wurden Spaghetti-Plots für alle untersuchten Parameter (Singer & Willett, 2003) erstellt. Zur besseren Übersicht ist jeder Probandin mithilfe ihrer Identifikationsnummer (ldfk.-Nr.) die gleiche Farbe in allen Spaghettiplots zugeordnet.

Zudem wurde die prozentuale Abweichung des Mittelwertes von den jeweiligen Zeitpunkten berechnet, um die Ergebnisse der Spaghettiplots numerisch einzuordnen. Ausgeschlossen von der Analyse wurden die  $\Delta$ -Laktatwerte sowie der  $\Delta$ -Rer, da die Werte, welche die Differenz bilden bereits einbezogen worden sind. Wenn die Differenz vom individuellen Mittelwert der Gesamtheit der Parameter bei unter 5% lag, wurde der Unterschied als neutral klassifiziert. Die Ergebnisse wurden mithilfe des statistischen Softwarepaket SPSS29 (IBM SPSS Statistics, SPSS Inc., Chicago, IL, Vereinigte Staaten) analysiert.

### 3 Ergebnisse

Zunächst werden nach dem Flowchart (3.1) sowohl anthropometrische als auch leistungsparametrische Daten der Stufentests (3.2) dargestellt. Nachfolgend werden in den Unterkapiteln der Energiestoffwechsel (3.3), die Sauerstoffaufnahmekinetik (3.4) und weitere Parameter (3.5) beleuchtet, welche im letzten Unterkapitel 3.6 individuell ausgewertet wurden.

#### 3.1 Flowchart der Teilnehmerinnen

Abbildung 6 beschreibt Details zur Planung der Teilnehmerinnenanzahl im Studienverlauf mithilfe eines Flussdiagramms.

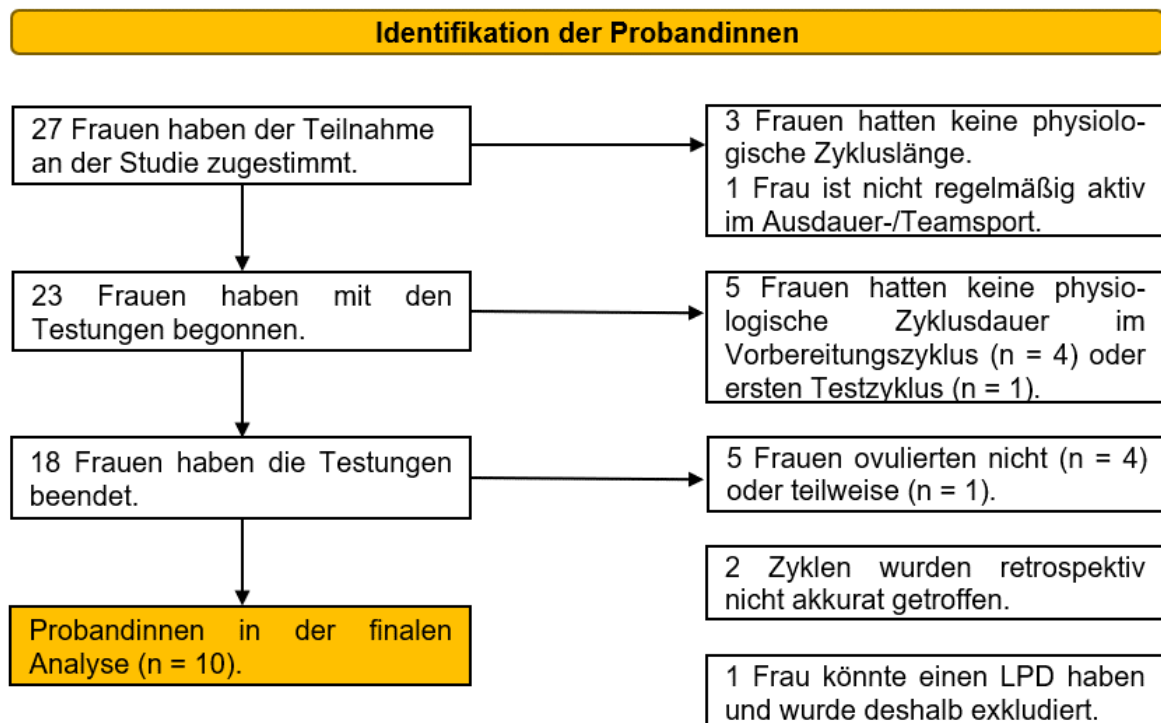


Abbildung 6: Details zur Planung der Teilnehmerinnen während der Studie. LPD = Lutealphasendefekt.

Während 27 Teilnehmerinnen der Teilnahme zugestimmt haben, konnten 23 Sportlerinnen mit den Testungen beginnen, da vier mögliche Probandinnen die Inklusionskriterien nicht erfüllten. Innerhalb dieser Studie haben zu Beginn 21 Probandinnen die Anforderungen der Studie erfüllt, sodass mit über 160% der benötigten Probandinnenanzahl ( $n = 13$ ) der durchschnittliche Prozentsatz anovulatorischer Zyklen aus der Literatur gedeckt wurde. Aufgrund exkludierter Probandinnen wurden zwei weitere Studienteilnehmerinnen zu einem späteren Zeitpunkt hinzugefügt. Fünf der 23 Sportlerinnen schieden während der Studie aufgrund unphysiologischer Zykluslängen aus (Vena & Paschou, 2021). Die

übriggebliebenen Frauen (n = 18) waren gesund und nahmen über die Testdauer keine regelmäßigen Medikamente ein. Mithilfe des kalendarbasierten Zählens und den Ergebnissen von Ovulationsstreifen wurden die MZ-Phasen verifiziert, sodass Teilnehmerinnen mit anovulatorischen Zyklen (n = 5), möglichen Lutealphasendefekten (n = 1) und nicht getroffene MZ-Phasen (n = 2) retrospektiv ausgeschlossen wurden.

### 3.2 Deskriptive Statistik

In Tabelle 1 wird die Zusammensetzung der statistischen Auswertung dargestellt.

*Tabelle 1: Inkludierte MZ-Phasen aller ovulatorischen Probandinnen (n = 12).*

ldfk.-Nr.	MP	LFP	MLP
1	✓	≈	≈
2	✓	≈	×
4	✓	≈	✓
6	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓
11	✓	✓	✓
12	✓	≈	✓
13	≈	×	≈
14	✓	≈	✓
15	✓	≈	✓
18	✓	≈	✓
19	✓	≈	≈

MP = Menstruationsphase; LFP = späte Lutealphase; MLP = Mittlere Lutealphase. ✓ = Phase zweimal getroffen; ≈ = Phase einmal getroffen; × = Phase nicht getroffen.

Es wurden die Mittelwerte der drei Phasen errechnet, sodass Testzeitpunkt zwei und fünf, drei und sechs sowie vier und sieben gemittelt wurden, sofern beide Zyklusphasen laut Verifikation mit den tatsächlichen Phasen übereinstimmen. Diese Fälle werden in Tabelle 1 mit einem ✓ dargestellt, sodass bei drei Probandinnen zwei vollständige Zyklen analysiert werden konnten. Wenn dies nicht der Fall war, wurde ausschließlich die Testung einbezogen, in der die MZ-Phase der Vorgabe entspricht (in Tabelle 1: ≈; n = 7). In zwei Fällen konnte kein kompletter Zyklus genutzt werden, sodass diese Probandinnen (n = 2) für die finale Analyse ausgeschlossen wurden (in Tabelle 1: ×).

Das gesamte Studienkollektiv wird in Tabelle 2 beschrieben.

Tabelle 2: Teilnehmerinnencharakteristik.

Probandinnen (n = 10)		
	MW ± SD	MD (IQR)
Alter [Jahre]	27 ± 5	27 (3)
Größe [m]	1.68 ± 0.04	1.67 (0.05)
Gewicht [kg]	64.3 ± 7.4	62.8 (6.9)
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	22.9 ± 2.6	22.2 (2.2)
Zyklusdauer [Tage]	29 ± 1	29 (2)

Daten werden als Mittelwerte ± Standardabweichung und Median (Interquartilsabstand) dargestellt. n = Stichprobengröße; BMI, Body-Mass-Index.

Insgesamt wurden zehn Probandinnen in die endgültige Analyse inkludiert. Sie waren zwischen 21 und 40 Jahre alt, wobei der Mittelwert bei  $27.3 \pm 4.9$  Jahren lag. Die Frauen waren im Mittel  $1.68 \pm 0.04$  m groß und wogen zu Beginn der Studie  $64.3 \pm 7.4$  kg, sodass der Median des Body-Mass-Index bei  $22.9 \pm 2.6$  kg/m<sup>2</sup> (IQR: 1.8 kg/m<sup>2</sup>) lag. Neun der zehn Teilnehmerinnen lagen dabei im Bereich des Normalgewichts, während eine Sportlerin als übergewichtig eingeordnet wurde (WHO, 1995). Die Menstruationszyklen der Probandinnen waren im Mittel  $29 \pm 2$  Tage lang, während die intraindividuelle Zykluslänge stark variierte und von null Tagen bis sieben Tagen Differenz schwankte.

Die Ausbelastungstestungen fanden für alle Subgruppen planmäßig an Tag eins bis fünf der individuellen Zyklen ( $4 \pm 1$  Tage) statt. Dabei erreichte das endgültige Studienkollektiv maximale Wattstufen ( $252 \pm 18$  W) von 215 bis 275 W bei einer maximalen HF von  $183 \pm 8$  bpm und einer maximalen Laktatkonzentration von  $11.4 \pm 2.7$  mmol·l<sup>-1</sup>. Der Session-RPE lag bei  $18 \pm 1$ . Die erste Schwelle wurde im Mittel bei 108 W ( $\pm 14$  W) gesetzt. Der RCP lag in diesem Studienkollektiv bei 200 W ( $\pm 14$  W). Die Berechnung der Intervalle ergab für das IL Werte von  $144 \pm 13$  W und für das IH von  $203 \pm 14$  W. In einem Fall lag der Wert für das zweite Intervall unter dem RCP, sodass dieser manuell erhöht wurde. Das IL liegt im Bereich der maximalen Fettoxidation zwischen 45 und 65% der maximalen Leistung (Purdom et al., 2018) und reicht von 48% bis hin zu 62% der erzielten Leistung.

Anhand zweierlei Indikatoren lassen sich die Probandinnen in verschiedene Klassifizierungsstufen einteilen (Decroix et al., 2016), sodass die Mehrheit des insgesamt heterogenen Samples sich zwischen Leistungslevel zwei und vier von insgesamt fünf Untergruppen befindet. Weder Level eins noch Level fünf sind in dieser Stichprobe ( $n = 10$ ) vertreten. Die erzielten Leistungsparameter sind in Tabelle 3 dargestellt und werden in Abbildung 7 veranschaulicht.

Tabelle 3: Leistungsparameter des Pre-Tests.

Probandinnen (n = 10)		
	MW $\pm$ SD	MD (IQR)
Rel. $\dot{V}O_2$ max [ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	47.7 $\pm$ 5.4	47.6 (7.4)
Max. Leistung [W]	252 $\pm$ 18	255 (21)
Rel. Max. Leistung [W/kg]	4.0 $\pm$ 0.5	4.1 (0.7)

Daten werden als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung und Median; Interquartilsabstand dargestellt. n = Stichprobengröße.

Innerhalb der Gruppen zwei bis vier liegt die relative  $\dot{V}O_2$ max (siehe Abbildung 6) laut Decroix et al. (2016) zwischen 37-58 ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup> (Gruppe zwei: 37-48 ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>, Gruppe drei: 48- 52 ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>, Gruppe vier: 52-58 ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>) sowie die relative Spitzenleistung bei 3-5 W/kg (Gruppe zwei: 3.0-3.8 W/kg, Gruppe drei: 3.8-4.3 W/kg, Gruppe vier: 4.3-5 W/kg). Die relative Spitzenleistung lag in diesem Kollektiv zwischen 3.14

und 4.37 W/kg mit einem Median von 4.1 W/kg (IQR: 0.7 W/kg), während die relative  $\dot{V}O_2\text{max}$  ( $47.7 \pm 5.4$ ) von 37.0 bis 55.9  $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  reichte. Auch die Trainingshistorie bestätigte die Annahme, dass sich die Probandinnen in die zweite bis vierte Gruppe einordnen lassen, da sie zwischen drei und 12 Stunden ( $7 \pm 3$ ) trainieren. Im Mittel haben sie mit  $12 \pm 5$  Jahren mit dem regelmäßigen Sporttreiben begonnen.

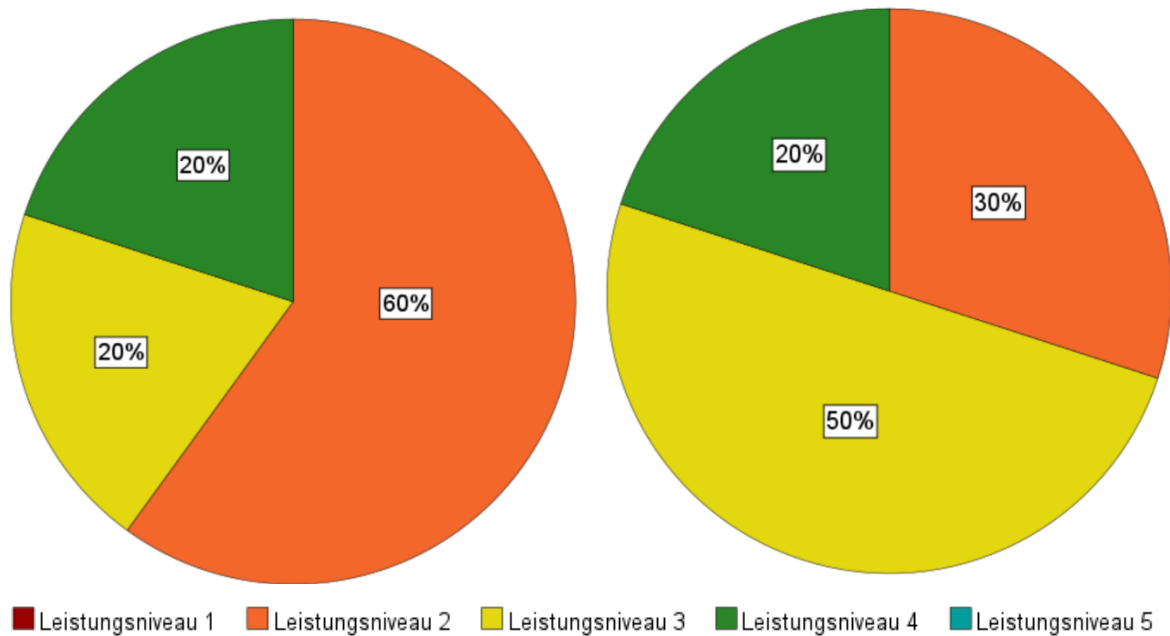


Abbildung 7: (links): Einordnung der relativen  $\dot{V}O_2\text{max}$  [ml/kg/min] (links) und der relativen Wattleistung [W/kg] (rechts) nach Decroix et al. (2016).

In Tabelle 4 sind das Gewicht sowie der BMI der Studienteilnehmerinnen ( $n = 10$ ) zu finden.

Tabelle 4: Gewicht und BMI an den submaximalen Testzeitpunkten aller inkludierten Probandinnen ( $n = 10$ ).

Variable	MP	LFP	MLP	p-Wert	$\eta^2$
	MW $\pm$ SD				
Gewicht [kg]	64.1 $\pm$ 8.1	64.1 $\pm$ 8.2	63.8 $\pm$ 8.2	0.412	0.094
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	22.7 $\pm$ 2.8	22.8 $\pm$ 2.9	22.3 $\pm$ 3.3	0.212	0.158

MP = Menstruationsphase; LFP = späte Lutealphase; MLP = mittlere Lutealphase.; p-Wert < 0.05;  $\eta^2$  = partielles Eta-Quadrat; RER = Respiratorischer Quotient; IL = Intervall low; IH = Intervall high;  $\Delta$  = Delta

Sowohl das Gewicht ( $F(2, 18) = 1.692$ ,  $p = 0.471$ ) als auch der BMI ( $F(2, 18) = 0.933$ ,  $p = 0.412$ ) zeigten keine signifikanten Veränderungen über den Studienverlauf hinweg.

### 3.3 Energiestoffwechsel

Zunächst wird der RER an verschiedenen Messzeitpunkten dargestellt (Tabelle 5). Anschließend werden Parameter des Energiestoffwechsels in Tabelle 6 wiedergegeben.

*Tabelle 5: Respiratorischer Quotient verschiedener Zeitpunkte vor, während und nach der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10).*

Variable	MP	LFP	MLP	p-Wert	$\eta^2$
	MW $\pm$ SD				
Start-RER	0.83 $\pm$ 0.03	0.83 $\pm$ 0.03	0.83 $\pm$ 0.05	0.940	0.007
IL-RER	0.87 $\pm$ 0.02	0.88 $\pm$ 0.02	0.89 $\pm$ 0.03	0.256	0.141
IH-RER	0.96 $\pm$ 0.03	0.95 $\pm$ 0.03	0.96 $\pm$ 0.04	0.842	0.019
$\Delta$ -RER	0.13 $\pm$ 0.04	0.13 $\pm$ 0.05	0.13 $\pm$ 0.05	0.906	0.011

MP = Menstruationsphase; LFP = späte Lutealphase; MLP = mittlere Lutealphase.; p-Wert < 0.05;  $\eta^2$  = partielles Eta-Quadrat; RER = Respiratorischer Quotient; IL = Intervall low; IH = Intervall high;  $\Delta$  = Delta

Weder der RER zu Beginn der submaximalen Testungen ( $F(2, 18) = 0.062$ ,  $p = 0.940$ ) noch der RER nach dem IL ( $F(2, 18) = 1.473$ ,  $p = 0.256$ ) und IH ( $F(2, 18) = 0.174$ ,  $p = 0.842$ ) unterschied sich, sodass sich auch der  $\Delta$ -RER ( $F(2, 18) = 0.099$ ,  $p = 0.906$ ) zwischen den drei untersuchten Phasen nicht signifikant unterschied. Das partielle  $\eta^2$  zeigt für den RER in der IL jedoch einen großen Effekt von  $\eta^2 = 0.141$ .

Tabelle 6: Parameter des Energiestoffwechsels an verschiedenen Zeitpunkten während der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10).

Variable	MP	LFP	MLP	p-Wert	$\eta^2$
	MW $\pm$ SD				
IL_TEE [kcal·min <sup>-1</sup> ]	9.18 $\pm$ 0.76	8.92 $\pm$ 0.82	9.06 $\pm$ 0.70	0.184	0.171
CHO-Oxidation [kcal·min <sup>-1</sup> ]	6.21 $\pm$ 1.10	5.95 $\pm$ 0.70	5.90 $\pm$ 0.63	0.449	0.085
Fett- Oxidation [kcal·min <sup>-1</sup> ]	3.20 $\pm$ 0.75	3.09 $\pm$ 0.46	3.21 $\pm$ 0.63	0.846	0.018
GE [%]	22.2 $\pm$ 1.2	22.4 $\pm$ 1.1	22.5 $\pm$ 1.7	0.807	0.024
IH-TEE [kcal·min <sup>-1</sup> ]	12.85 $\pm$ 0.92	12.62 $\pm$ 1.05	12.69 $\pm$ 0.93	0.698	0.039

MP = Menstruationsphase; LFP = späte Lutealphase; MLP = mittlere Lutealphase.; p-Wert < 0.05;  $\eta^2$  = partielles Eta-Quadrat; IL = Intervall low; TEE = Total energy expenditure; CHO-Oxidation = Kohlenhydrat-Oxidation; GE = Gross Efficiency; IH = Intervall high.

Bedeutende Differenzen blieben für die TEE in der IL ( $F(2, 18) = 1.860$ ) mit einem Signifikanzwert von  $p = 0.184$  sowie die CHO-Oxidation ( $F(2, 18) = 0.838$ ) mit  $p = 0.449$  und die Fett-Oxidation ( $F(2, 18) = 0.169$ ) mit  $p = 0.846$  innerhalb dieser Stichprobe (n = 10) aus. Dennoch zeigte das partielle  $\eta^2$  für die TEE in der IL einen großen ( $\eta^2 = 0.171$ ) und für die CHO-Oxidation einen mittleren ( $\eta^2 = 0.085$ ) Effekt. Zusätzlich kann die TEE auch im IH ( $F(2, 18) = 0.367$ ,  $p = 0.698$ ) berechnet werden, welche wie die GE ( $F(2, 18) = 0.218$ ,  $p = 0.807$ ) keine signifikanten Unterschiede zeigte.

### 3.4 Sauerstoffaufnahmekinetik

In Tabelle 7 wird die Sauerstoffaufnahmekinetik mithilfe des Taus im IL und IH veranschaulicht.

Tabelle 7: Parameter der Zeitkonstante Tau zur Darstellung der Sauerstoffaufnahmekinetik an verschiedenen Zeitpunkten während der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10).

Variable	MP	LFP	MLP	p-Wert	$\eta^2$
MW $\pm$ SD					
IL-Tau [s]	36 $\pm$ 10	34 $\pm$ 10	36 $\pm$ 11	0.524	0.078
IH-Tau [s]	48 $\pm$ 8	45 $\pm$ 13	46 $\pm$ 8	0.432	0.089

MP = Menstruationsphase; LFP = späte Lutealphase; MLP = mittlere Lutealphase.; p-Wert < 0.05;  $\eta^2$  = partielles Eta-Quadrat; IL = Intervall low; IH = Intervall high.

Auch hier blieben bedeutende Differenzen mit p-Werten von  $p = 0.524$  im IL ( $F(2, 16) = 0.672$ ) und  $p = 0.432$  im IH ( $F(2, 18) = 0.879$ ,  $p = 0.432$ ) aus, obgleich das partielle  $\eta^2$  sowohl in der IL ( $\eta^2 = 0.078$ ) als auch in der IH ( $\eta^2 = 0.089$ ) auf mittlere Effekte hinwies.

### 3.5 weitere Parameter

Weitere Parameter wie die Hf, die RPE-Werte und die Laktatkonzentrationen ergänzen die bereits erwähnten Parameter der Forschungsfragen. Die Tabelle 8 beschreibt die Hf-Werte der inkludierten Probandinnen (n = 10) nach dem IL und dem IH.

Tabelle 8: Hf-Werte verschiedener Zeitpunkte während der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10).

Variable	MP	LFP	MLP	p-Wert	$\eta^2$
MW $\pm$ SD					
IL-Hf* [bpm]	141 $\pm$ 13	137 $\pm$ 14	138 $\pm$ 15	0.207	0.168
IH-Hf [bpm]	170 $\pm$ 10	168 $\pm$ 9	170 $\pm$ 9	0.438	0.088

MP = Menstruationsphase; LFP = späte Lutealphase; MLP = mittlere Lutealphase.; p-Wert < 0.05;  $\eta^2$  = partielles Eta-Quadrat; IL = Intervall low; Hf = Hf; IH = Intervall high; \* = Greenhouse-Geisser verwendet, da Sphärizität nicht gegeben.

Eine ANOVA mit Messwiederholung mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte keine signifikante Veränderung der HF im IL ( $F(1.241, 11.167) = 1.816, p = 0.207$ ). Dies bleibt auch für die HF im IH aus ( $F(2, 18) = 0.866, p = 0.438$ ). Trotz dessen sollte dem großen Effekt mit  $\eta^2 = 0.168$  in der IL sowie dem mittleren Effekt mit  $\eta^2 = 0.088$  in der IH Beachtung geschenkt werden.

In Tabelle 9 können die RPE-Werte nach dem IL und IH abgelesen werden.

Tabelle 9: RPE-Werte verschiedener Zeitpunkte während der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10).

Variable	MP	LFP	MLP	p-Wert	$\eta^2$
MW $\pm$ SD					
IL-RPE	12 $\pm$ 1	11 $\pm$ 2	12 $\pm$ 1	0.142	0.195
IH-RPE	17 $\pm$ 1	16 $\pm$ 2	16 $\pm$ 1	0.074	0.251

MP = Menstruationsphase; LFP = späte Lutealphase; MLP = mittlere Lutealphase.; p-Wert < 0.05;  $\eta^2$  = partielles Eta-Quadrat; IL = Intervall low; RPE = rate of perceived exertion; IH = Intervall high

Die RPE-Werte bleiben über die Phasen relativ konstant, sodass es im IL ( $F(2, 18) = 2.177$ ,  $p = 0.142$ ) und im IH ( $F(2, 18) = 3.105$ ,  $p = 0.074$ ) keinen signifikanten Unterschied gab. Weit über dem Grenzwert für große Effekte des partiellen  $\eta^2$  von  $< 0.1$  liegt der RPE in der IL ( $\eta^2 = 0.195$ ) und der IH ( $\eta^2 = 0.251$ ).

In Tabelle 10 werden die Laktatkonzentrationen an verschiedenen Messzeitpunkten präsentiert.

Tabelle 10: Laktatkonzentrationen verschiedener Zeitpunkte während und nach der Testung aller inkludierten Probandinnen ( $n = 10$ ).

Variable	MP	LFP	MLP	p-Wert	$\eta^2$
	MW $\pm$ SD				
IL-Laktat [mmol·l <sup>-1</sup> ]	2.3 $\pm$ 0.8	2.3 $\pm$ 1.0	2.3 $\pm$ 0.9	0.916	0.010
B-Laktat [mmol·l <sup>-1</sup> ]	1.3 $\pm$ 0.4	1.2 $\pm$ 0.5	1.3 $\pm$ 0.4	0.458	0.083
Ende-Laktat* [mmol·l <sup>-1</sup> ]	7.2 $\pm$ 1.8	6.5 $\pm$ 2.5	6.7 $\pm$ 2.1	0.119	0.233
$\Delta$ -Laktat* [mmol·l <sup>-1</sup> ]	3.5 $\pm$ 1.0	3.0 $\pm$ 1.3	3.1 $\pm$ 0.9	0.245	0.147

MP = Menstruationsphase; LFP = späte Lutealphase; MLP = mittlere Lutealphase.; p-Wert  $< 0.05$ ;  $\eta^2$  = partielles Eta-Quadrat; IL = Intervall low; B = Baseline;  $\Delta = \Delta$ ; \* = Greenhouse-Geisser verwendet, da Sphärizität nicht gegeben.

Die Laktatkonzentrationen spiegeln keine statistisch beachtenswerten Veränderungen wider, da sich weder die P-Werte der Laktatkonzentrationen nach dem IL ( $F(2, 18) = 0.088$ ,  $p = 0.916$ ) noch während der B ( $F(2, 18) = 0.815$ ,  $p = 0.458$ ) und am Ende der Testung (mit Greenhouse-Geisser-Korrektur:  $F(1.296, 11.664) = 2.737$ ,  $p = 0.142$ ) unterscheiden. Aufgrund dessen kann kein signifikanter Unterschied im  $\Delta$ -Laktat mit Greenhouse-Geisser-Korrektur bei einem Signifikanzwert von  $p = 0.238$  gemessen werden ( $F(1.233, 11.101) = 1.557$ ,  $p = 0.245$ ). Ein mittlerer Effekt des partiellen  $\eta^2$  der Laktatkonzentration liegt während der B ( $\eta^2 = 0.0083$ ) neben großen Effekten am Ende der Testung ( $\eta^2 = 0.233$ ) sowie im  $\Delta$ -Laktat ( $\eta^2 = 0.147$ ) vor.

### 3.6 Individuelle Ergebnisanalyse

Die nachfolgenden Diagramme zeigen den RER vor (Abbildung 8), während (Abbildung 9) und nach der Testung (Abbildung 10) sowie den  $\Delta$ -RER zwischen dem Start- und Endwert (Abbildung 11) mithilfe von Spaghettiplots.

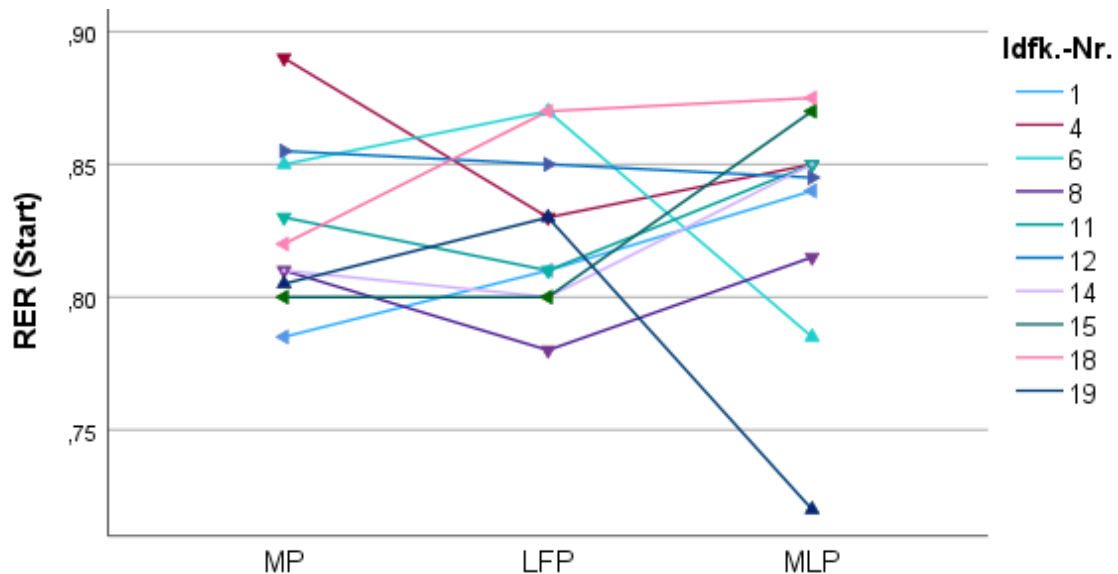


Abbildung 8: Individuelle Verläufe der RER-Werte vor Testbeginn. RER = Respiratorischer Quotient; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Die verschiedenen RER-Werte zu Beginn der Testung unterschieden sich außer bei Probandin 6 und 19 recht wenig, weshalb eine ähnliche Ernährung vor Testbeginn realistisch scheint. Mit Vorsicht zu interpretieren ist jedoch der RER-Wert von Probandin 19 in der MLP, da sie zuvor im Vergleich zu den anderen Testungen vorher nichts gegessen hat, welches auch bei den Abbildungen 9-11 beachtet werden sollte.

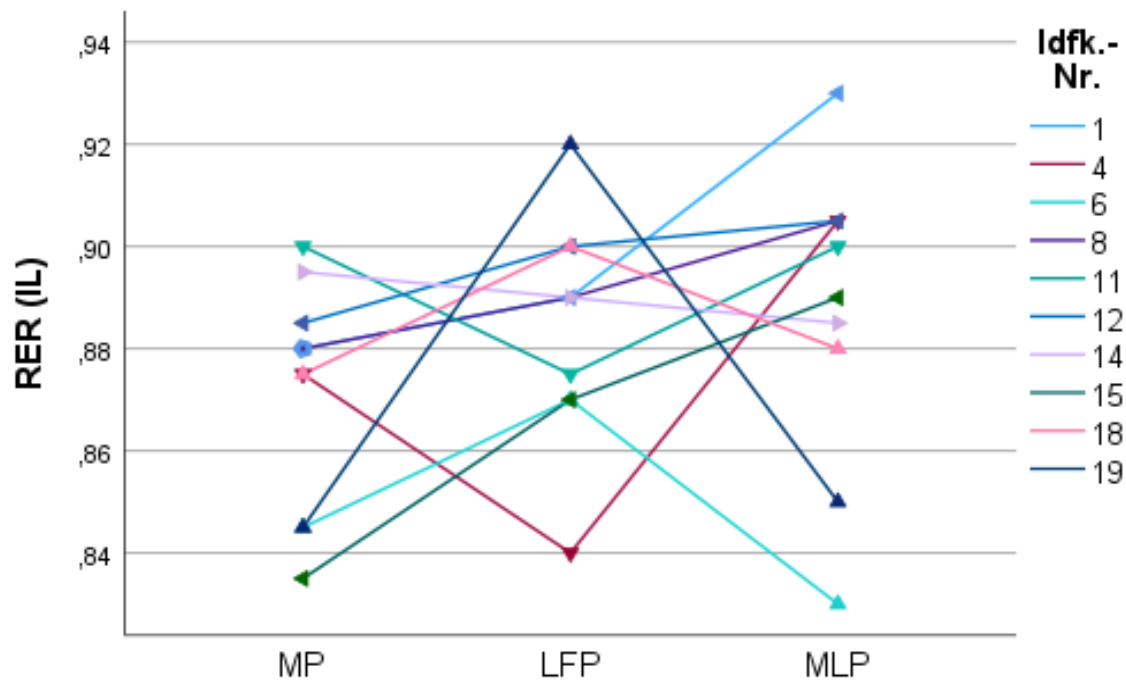


Abbildung 9: Individuelle Verläufe der RER-Werte im IL. RER = Respiratorischer Quotient; IL = Intervall low; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Während die RER-Werte vor Testbeginn von Probandin 6, 18 und 19 im Verlauf des MZ zunächst anstiegen und dann absanken, zeigten andere Teilnehmerinnen (4, 11) einen gegensätzlichen Verlauf. Kontinuierlich gestiegen sind die RER-Werte bei den Teilnehmerinnen 1, 8, 12 und 15, während sie sich bei Probandin 14 absanken.

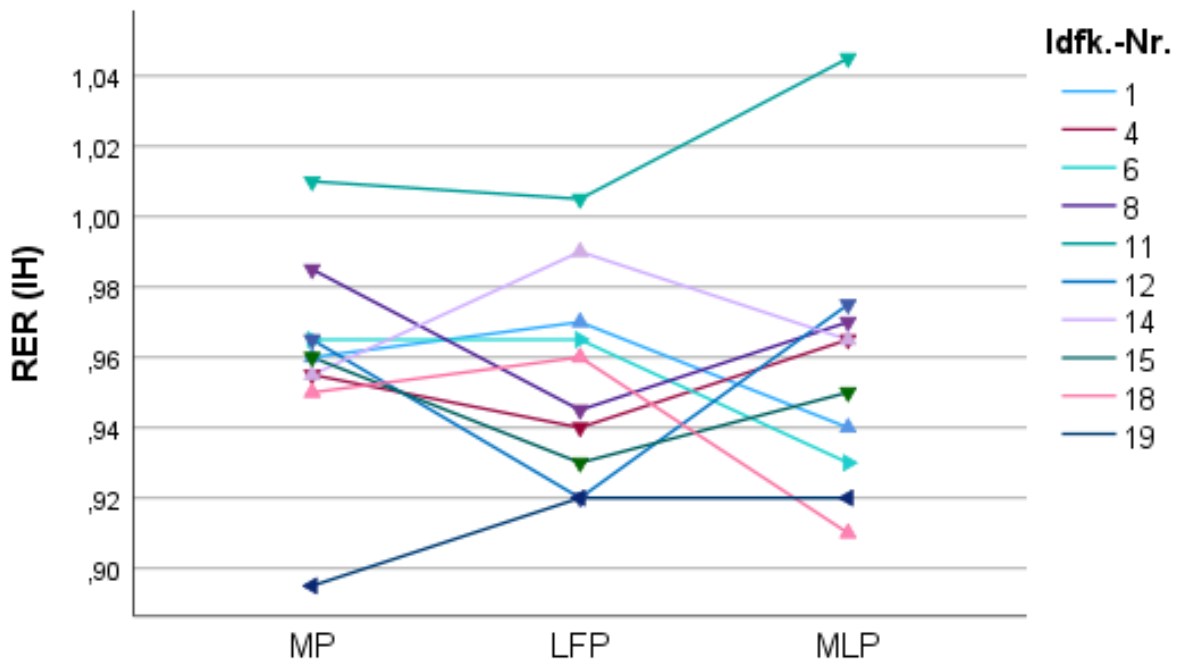


Abbildung 10: Individuelle Verläufe der RER-Werte im IH. RER = Respiratorischer Quotient; IH = Intervall high; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Demgegenüber erreichten Probandin 4, 8, 11, 12 und 15 in der LFP ihren Tiefpunkt. Bei Teilnehmerin 19 waren die RER-Werte in der LFP und MLP im Gegensatz zu den Probandinnen 1, 14 und 18, die ihren höchsten Wert in der LFP hatten, höher als in der MP. Probandin 6 hatte als einzige gleiche Werte in den früheren MZ-Phasen, welche in der MLP absanken, welches jedoch durch ihren niedrigeren Startwert erklärt werden konnte.

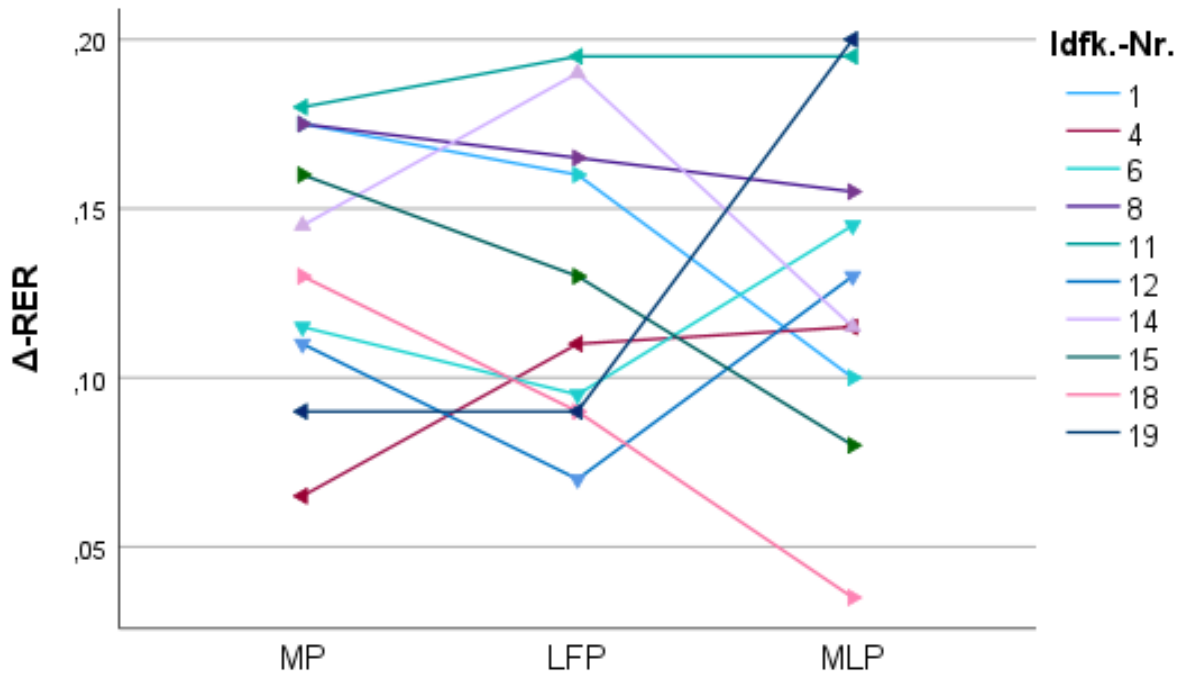


Abbildung 11: Individuelle Verläufe der  $\Delta$ -RER-Werte zwischen dem Startwert und dem Wert der IH. RER = Respiratorischer Quotient; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ▶ = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Mit steigender Zykluslänge wurden niedrigere Werte für den  $\Delta$ -RER bei den Probandinnen 8, 15 und 18 gemessen. Der entgegengesetzte Verlauf wurde bei den Probandinnen 4 und 11 aufgezeigt. Während die Probandinnen 1, 6 und 12 in der LFP den kleinsten Unterschied zwischen dem RER zu Beginn und nach dem IH hatten, war die Differenz bei Teilnehmerin 14 kurz vor der Ovulation am größten. Probandin 19 zeigte einen hohen  $\Delta$ -RER in der MLP, da ihr Startwert mit RER = 0.72 sehr niedrig war.

Die Abbildungen 12 – 16 skizzieren die individuellen Messwerte der Parameter des Energiestoffwechsels.

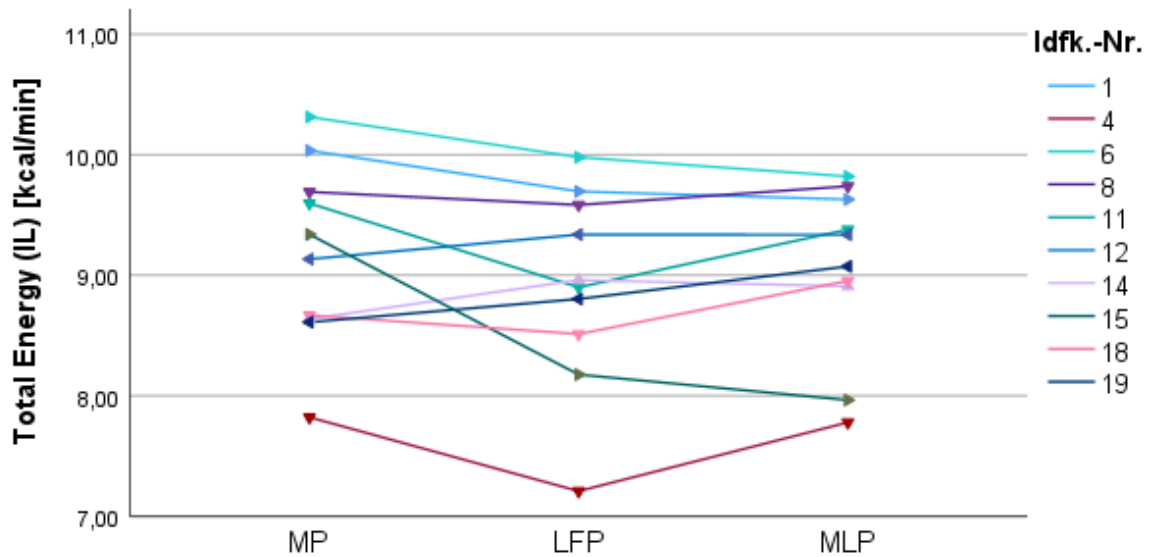


Abbildung 12: Individuelle Verläufe der Total Energy Expenditure [kcal/min] im IL. IL = Intervall low; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Ausschließlich die Probandinnen 14 und 19, bei welchen die Schwankung der Energieaufnahme marginal ausfiel ( $\pm 0.34$ ), hatten im Gegensatz zu den Teilnehmerinnen 4 und 18 die höchste Energieaufnahme in der LFP. Ebenfalls nur sehr geringe Veränderungen zeigten die drei Messpunkte der Probandinnen 8 ( $\pm 0.60$ ), 12 ( $\pm 0.42$ ) und 14 ( $\pm 0.58$ ). Bei den Teilnehmerinnen 1, 6 und 15 wurde im Laufe des Zyklus im IL weniger Energie aufgenommen, während der Verlauf sich für Teilnehmerin 19 spiegelte.

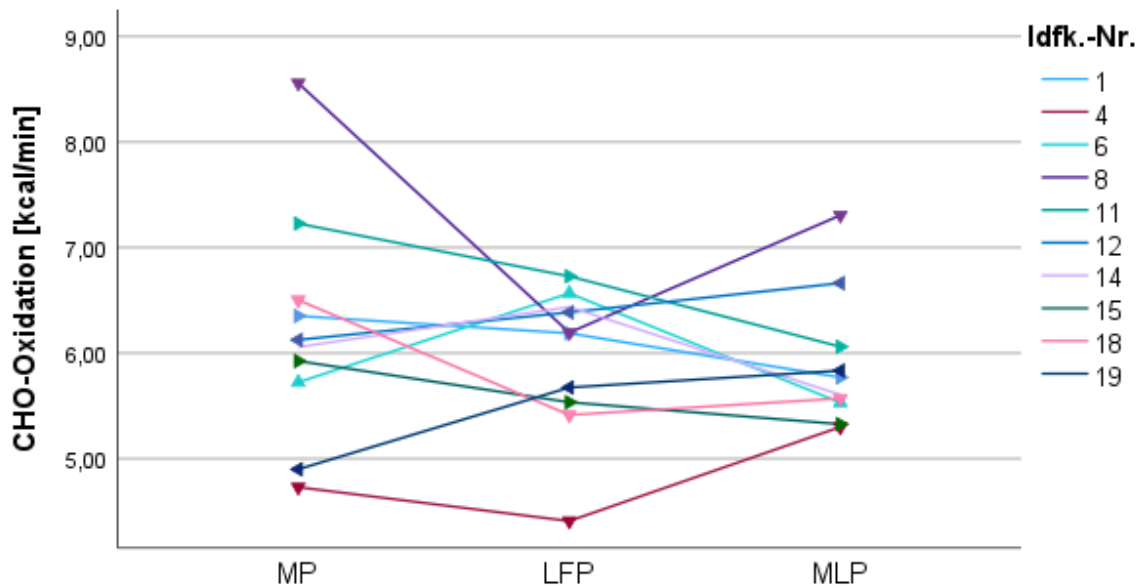


Abbildung 13: Individuelle Verläufe der CHO-Oxidation [kcal/min]. CHO-Oxidation = Kohlenhydratoxidation; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Die größte individuelle Schwankung der Kohlenhydratoxidation zeigt sich bei Probandin 8. Ihren Tiefpunkt hatten die Teilnehmerinnen 4 und 18 ebenfalls in der LFP, während die Kohlenhydratoxidation bei Probandin 1, 11 und 15 im Laufe des MZ weniger stark ausgeprägt war. Im Gegensatz dazu stieg sie bei den Probandinnen 12 und 19. Ihren Hochpunkt hatten die Teilnehmerinnen 6 und 14 in der LFP.

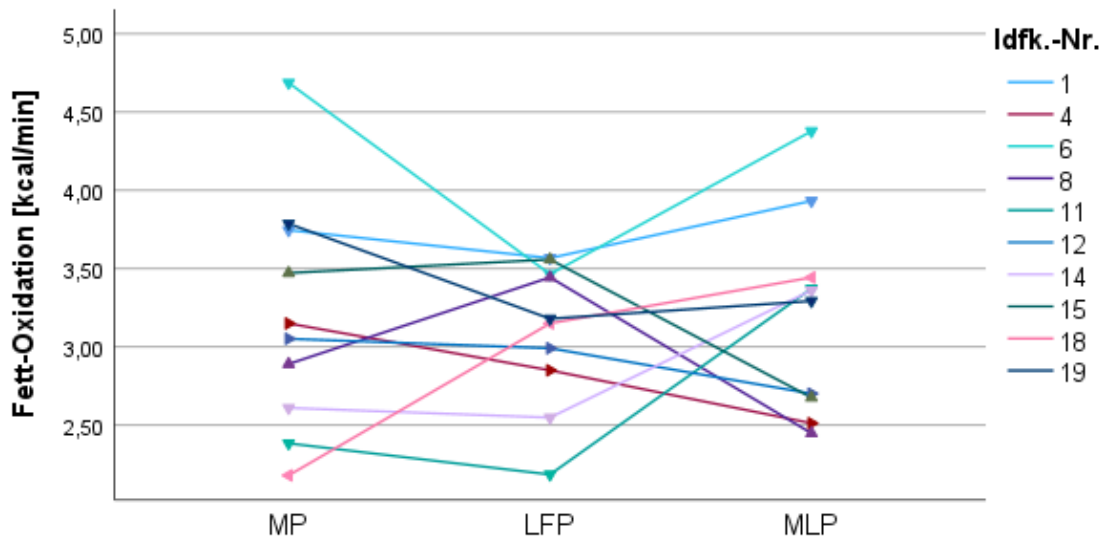


Abbildung 14: Individuelle Verläufe der Fett-Oxidation [kcal/min]. MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt.

Im Zusammenhang mit der Kohlenhydratoxidation war die Schwankung der Fett-Oxidation ebenfalls bei Probandin 18 mit einem Maximalwert in der MLP so wie bei Teilnehmerin 15 am größten. Die Teilnehmerinnen 1, 6, 11, 14 sowie 19 haben in der LFP am wenigsten Fett oxidiert. Gegensätzliche Verläufe zeigten Probandin 8 mit dem Höchstwert in der LFP und die Probandinnen 4, 12 und 15 mit dem Maximum der Fettoxidation in der MP.

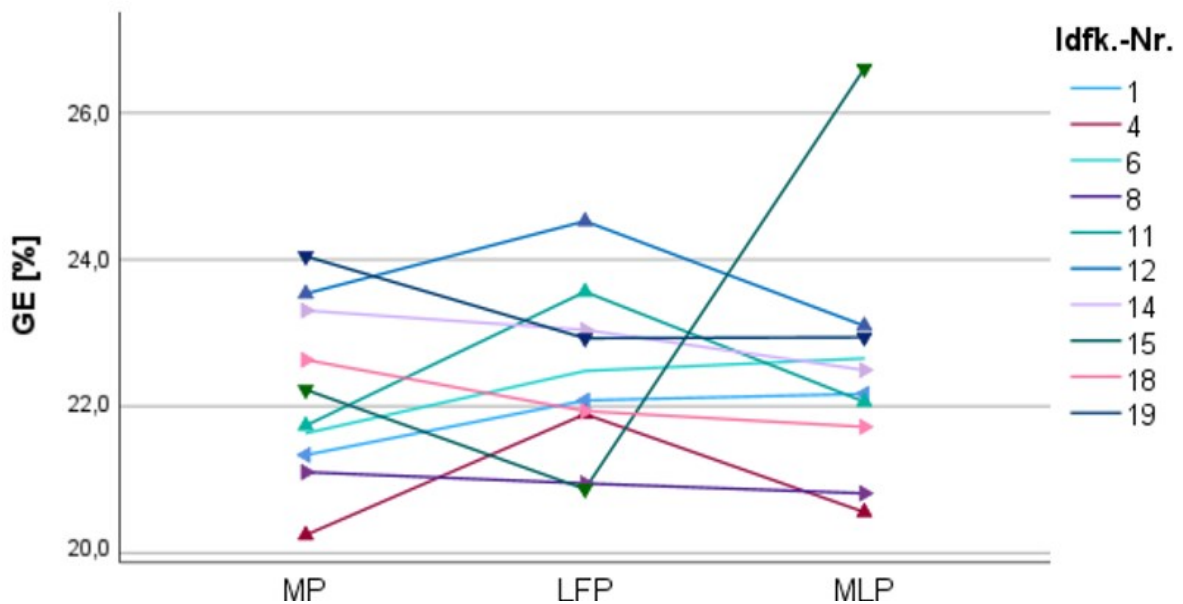


Abbildung 15: Individuelle Verläufe der GE. GE = Gross Efficiency; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Die GE hatte ausschließlich bei Probandin 15 ihr Maximum in der MLP. Gleichzeitig schwankten die Werte bei ihr am stärksten, sodass bei der Messung der MLP von einem Messfehler ausgegangen werden muss, da eine GE von 27% bei diesem Studienkollektiv nicht realistisch erscheint. Am effizientesten gefahren sind die Probandinnen 4, 11 und 12 in der LFP. Dies war bei den Teilnehmerin 8, 14, 18 und 19 in der MP der Fall, während die Probandinnen 1 und 6 in der MLP die effizienteste Radleistung erzielten.

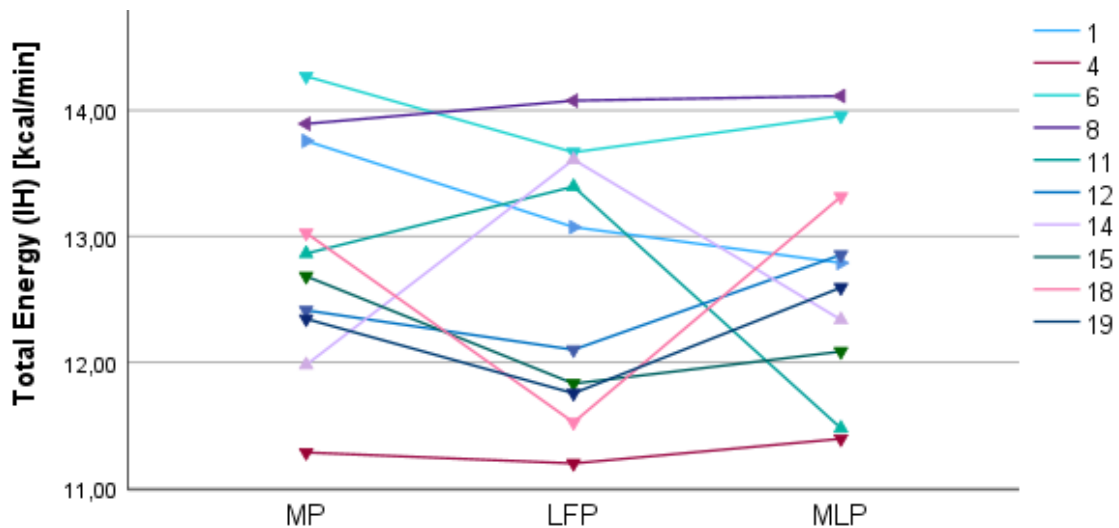


Abbildung 16: Individuelle Verläufe der Total Energy Expenditure [kcal/min] im IH. IH = Intervall high; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Im Vergleich zu den Teilnehmerinnen 11 mit der größten individuellen Variation und Probandin 14, welche ihr Maximum in der LFP erreichten, hatte die Mehrheit der Probandinnen (4, 6, 12, 15, 18, 19) ihren Tiefpunkt des totalen Energieverbrauchs in der LFP. Probandin 1 verbrauchte in der MP am meisten Energie. Andersherum verlief der Energieverbrauch von Probandin 8, die mit zunehmender Zyklusdauer mehr Energie brauchte.

Die Sauerstoffaufnahmekinetik, welche durch die Zeitkonstante Tau dargestellt wird, wird graphisch mithilfe der individuellen Verläufe in Abbildung 17 und 18 verdeutlicht.

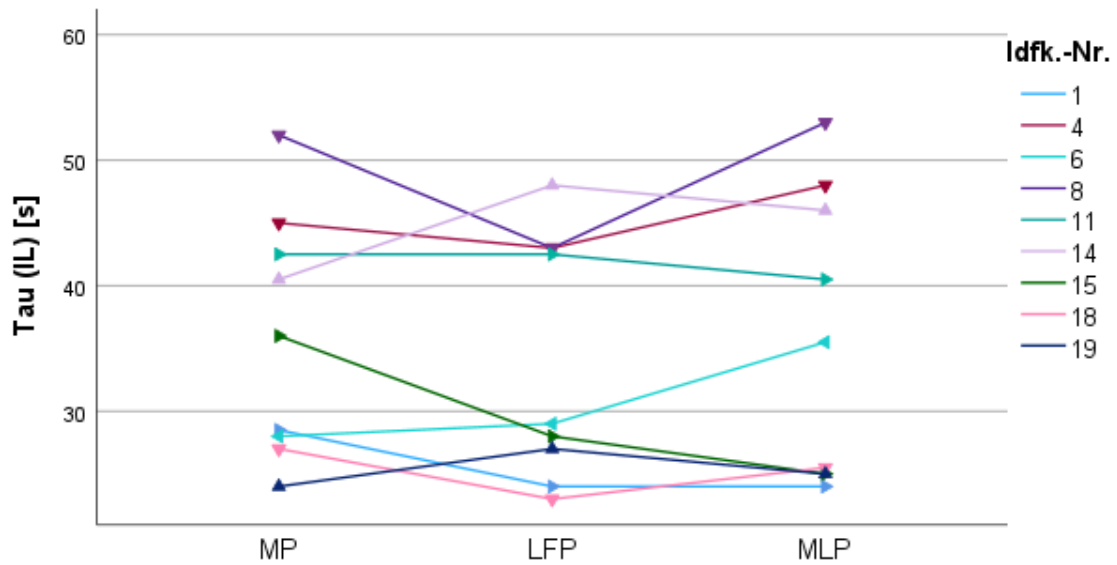


Abbildung 17: Individuelle Verläufe der Zeitkonstante Tau [s] im IL. IL = Intervall low; MP = Menstruations-phase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ▼ = Parameter fällt stetig; ▲ = Parameter fällt erst und steigt dann; ▼ = Parameter steigt stetig.

Die schnellsten Veränderungen der  $\dot{V}O_2$  verzeichneten drei Teilnehmerinnen (4, 8, 18) in der LFP. Die langsamste Veränderung der Sauerstoffkinetik hatten die Probandinnen 14 und 18 in der gleichen MZ-Phase. Im Laufe des Zyklus abfallend zeigte sich der Verlauf der Tau-Werte bei den Teilnehmerinnen 1, 6, 11 und 15.

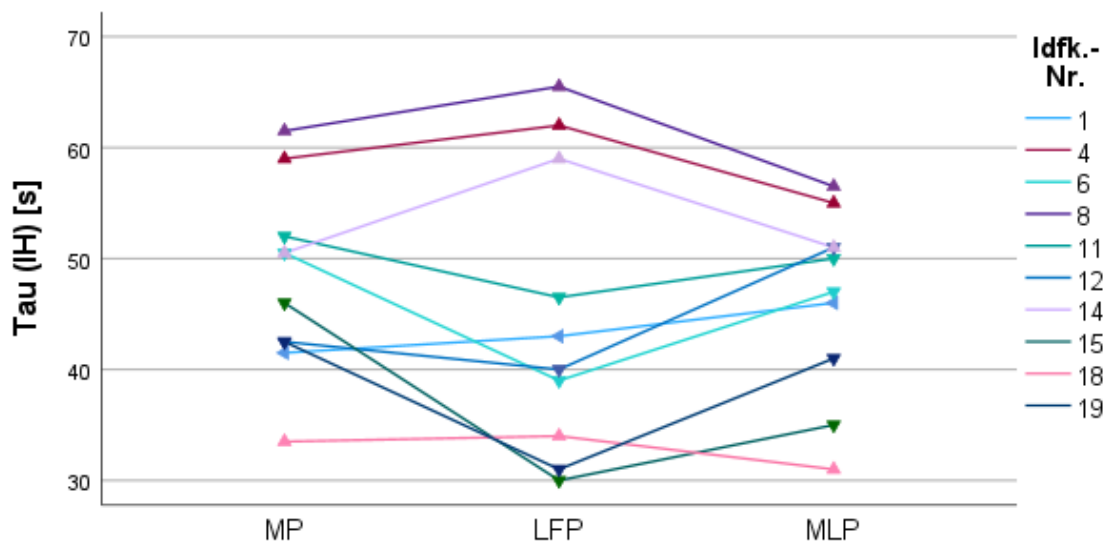


Abbildung 18: Individuelle Verläufe der Zeitkonstante Tau [s] im IH. IH = Intervall high; MP = Menstruations-phase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ▼ = Parameter fällt stetig; ▲ = Parameter fällt erst und steigt dann; ▼ = Parameter steigt stetig.

Im Gegensatz zum IL brauchten die Probandinnen 4, 8 und 18 im IH genauso wie Teilnehmerin 14 am meisten Zeit zur Anpassung der  $\dot{V}O_2$ . Geringere Tau-Werte erzielten die Probandinnen 6, 11, 15 und 18. Mit fortschreitender Zyklusdauer erfolgte die Veränderung der  $\dot{V}O_2$  bei Teilnehmerin 1 schneller und bei Probandin 18 langsamer.

Alle in 3.3 genannten Parameter werden ebenfalls mithilfe der Spaghettiplots grafisch dargestellt. Die individuellen Verläufe der Hf werden innerhalb der unterschiedlichen MZ's in Abbildung 18 und 19 veranschaulicht. Weitere Parameter wie die RPE-Werte im IL (Abbildung 21) und IH (Abbildung 22) werden genauso die Laktatkonzentrationen an verschiedenen Messzeitpunkten (Abbildungen 23 – 26) präsentiert.

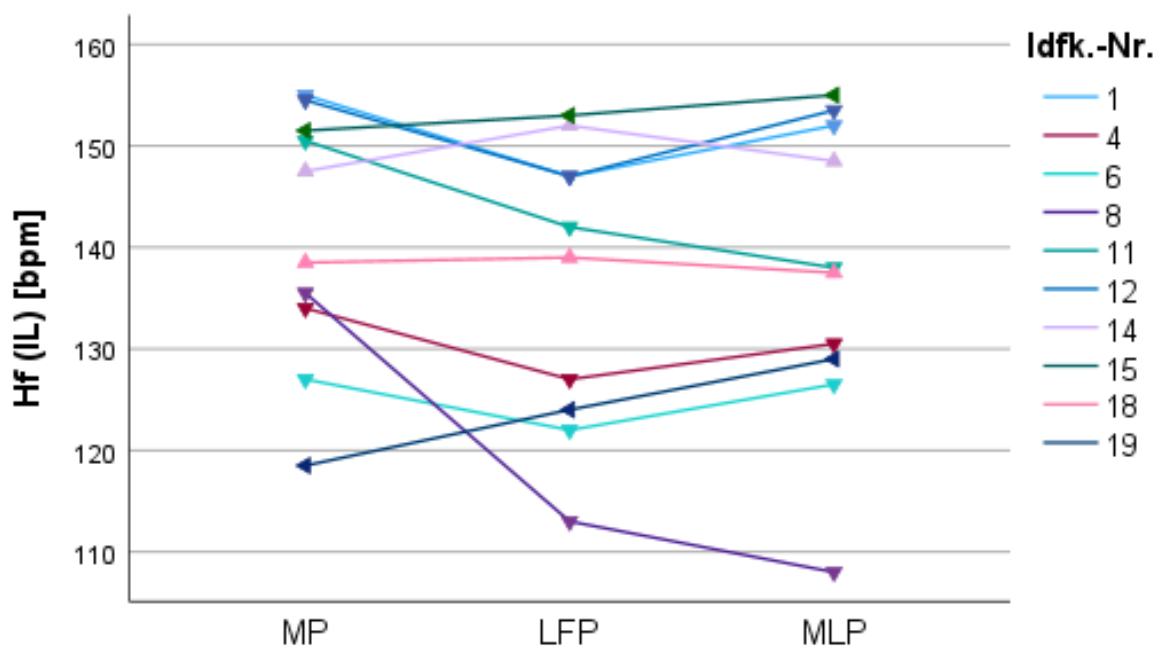


Abbildung 19: Individuelle Verläufe der Zeitkonstante Hf [bpm] im IL. IL = Intervall low; Hf = Hf; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Auch bei der Hf im IL hatte Probandin 8 die größte Variation in ihren Messwerten. Tiefpunkte in der LFP wurden bei den folgenden Teilnehmerinnen gemessen: 1, 4, 12 und 19. Mit einer minimal höheren Hf war das Maximum von Probandin 18 genauso wie bei Teilnehmerin 14 in der LFP. Bei den Probandinnen 15 und 19 stieg die Hf im Laufe des MZ an, während sie bei Teilnehmerin 6 abfiel.

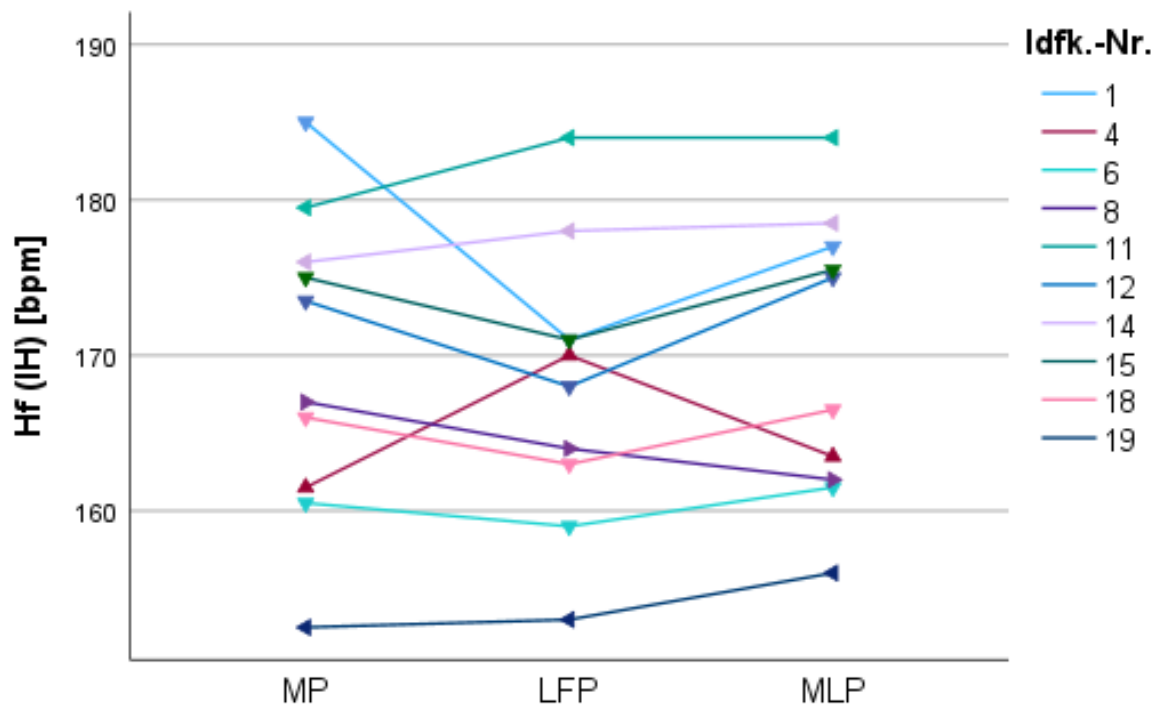


Abbildung 20: Individuelle Verläufe der Zeitkonstante Hf im IH. IH = Intervall high; Hf = Hf; MP = Menstrationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Im IH ist der Unterschied zwischen den Messzeitpunkten bei Probandin 1 mit dem Minimum in der LFP am größten. Den gleichen Verlauf zeigten die Messwerte bei den Teilnehmerinnen 6, 12 und 15. Nur Probandin 4 hatte ihre maximale Hf im IH in der LFP. Bei drei Teilnehmerinnen (11, 14, 19) stieg die Hf bis zum Ende des Zyklus an. Lediglich die Hf von Probandin 8 fiel ab.

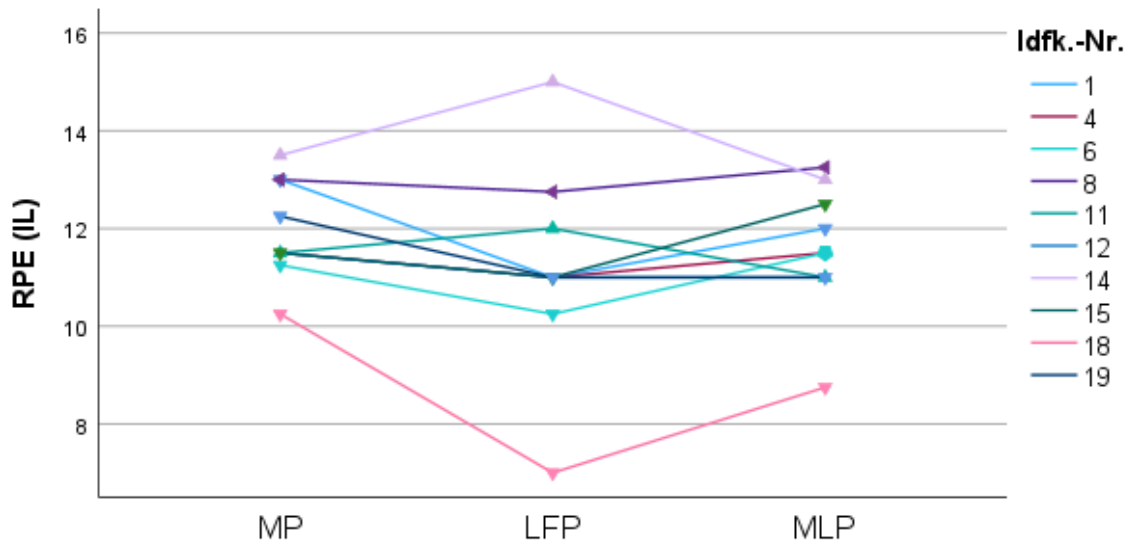


Abbildung 21: Individuelle Verläufe des RPE im IL. RPE = rate of perceived exertion; IL = Intervall low; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ● = Überschneidung mehrerer Farben.

Die subjektive Beurteilung mithilfe des RPE fiel in der LFP bei den Probandinnen 1, 6, 8, 15 und 18 am niedrigsten aus. Die Teilnehmerinnen 11 und 14 haben es demgegenüber in der LFP im IL anstrengender wahrgenommen, während dies bei Probandin 19 in der MP der Fall war. Im Laufe des Zyklus fiel es den Probandinnen 4 (Linie rot unter Linie 1) und 19 leichter das IL zu absolvieren.

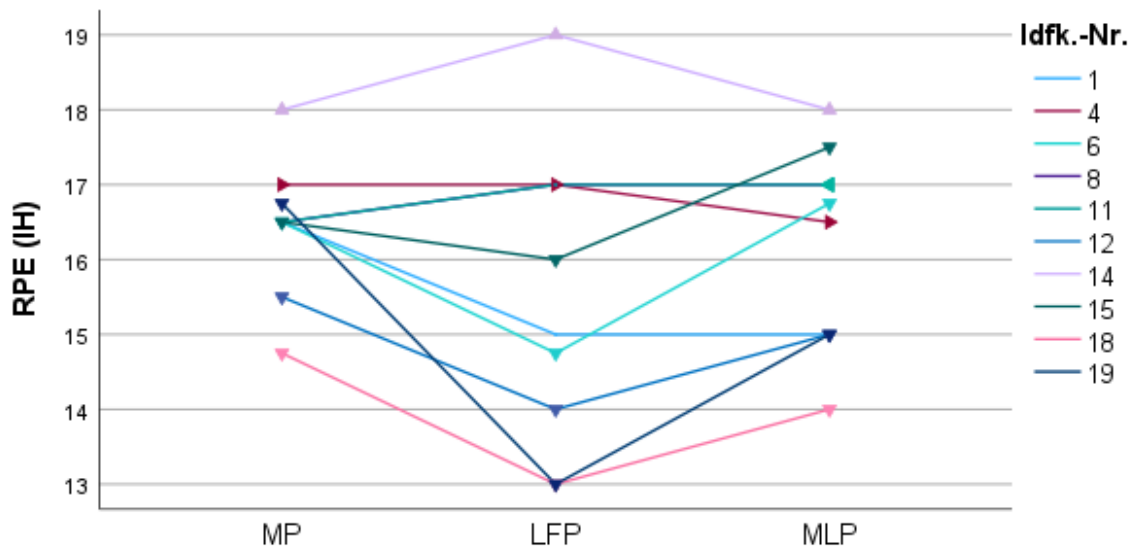


Abbildung 22: Individuelle Verläufe des RPE im IH. RPE = rate of perceived exertion; IH = Intervall high; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Ähnlich wie im IL fanden die meisten Probandinnen (6, 12, 15, 18, 19) auch das IH in der LFP am wenigstens anstrengend. Nur der RPE-Wert von Probandin 14 war dort am höchsten. In der LFP und der MLP wurde das IH von den Teilnehmerinnen 1, 8 und 11 gleichermaßen anstrengend empfunden. Jedoch wurde von Probandin 1 ein höherer Wert in der MP genannt, während die Probandin 8 und 11, deren Verlauf sich exakt überschneidet, diese als weniger anstrengend beschrieben haben. Im Laufe des Zyklus nannte Probandin 4 niedrigere RPE-Werte.

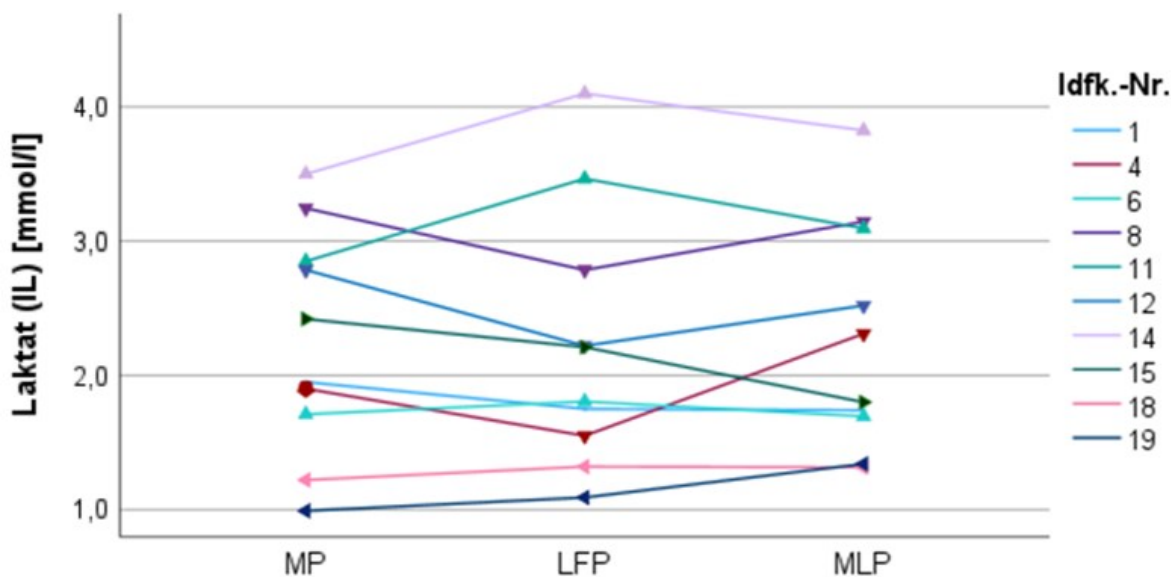


Abbildung 23: Individuelle Verläufe der Laktatkonzentrationen [mmol/l] im IL. IL = Intervall low; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Jeweils drei Probandinnen hatten ihre maximale Laktatkonzentration in der IL in der MP (1, 8, 15) und der LFP (6, 11, 14). Je früher im Zyklus die Testung stattfand, desto geringer war die Laktatkonzentration in der IL bei den Teilnehmerinnen 18 und 19. Ihren Tiefpunkt in der LFP hatte die Laktatkonzentration hingegen bei Probandin 4 und 12.

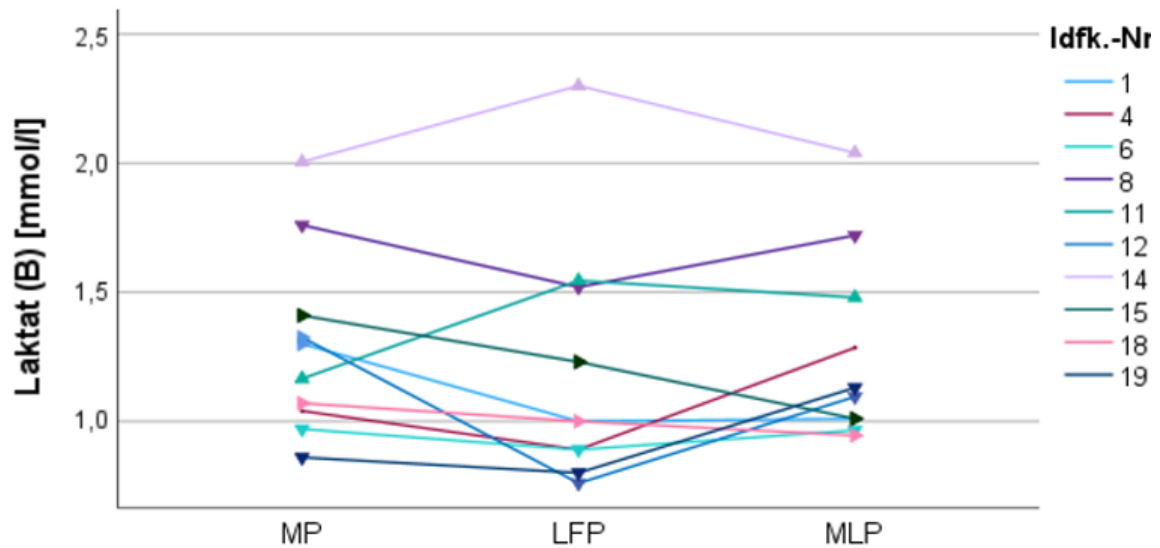


Abbildung 24: Individuelle Verläufe der Laktatkonzentrationen [mmol/l] in B. B = Baseline; IL = Intervall low; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ▶ = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

In der Baseline war die Laktatkonzentration bei folgenden Probandinnen in der LFP am niedrigsten: 4, 6, 8, 12, 19. Am höchsten war diese jedoch bei den Teilnehmerinnen 11 und 14 in derselben Phase. Der Parameter fällt für die Teilnehmerinnen 15 und 18 stetig, während er bei Probandin 1 zunächst höher war und in den darauffolgenden Testungen gleich hoch war.

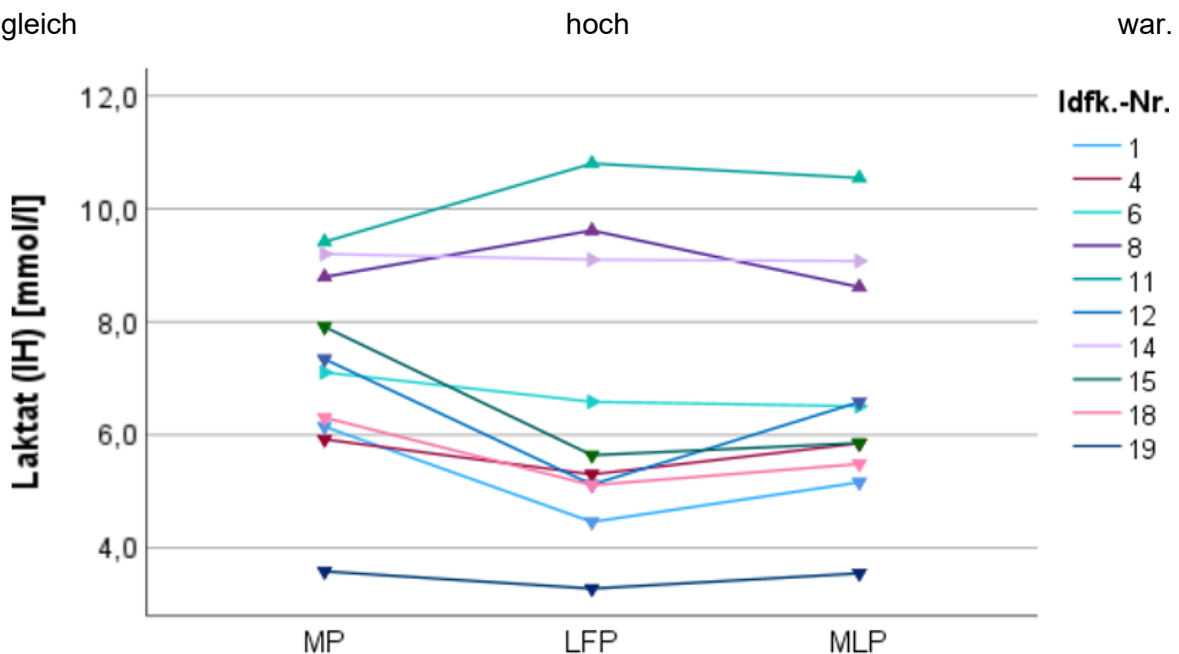


Abbildung 25: Individuelle Verläufe der Laktatkonzentrationen [mmol/l] im IH. IH = Intervall high; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ▶ = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.

Sechs Probandinnen (1, 4, 12, 15, 18, 19) erreichten ihre minimale Laktatkonzentration im IH in der LFP. Minimal niedriger wurden die Konzentrationen der Probandinnen 6 und 14 mit fortgeschrittener Zykluslänge. Im Vergleich zur Mehrheit der Probandinnen erreichten die Probandinnen 8 und 11 in der LFP ihre maximale Laktatkonzentration am Ende des IH.

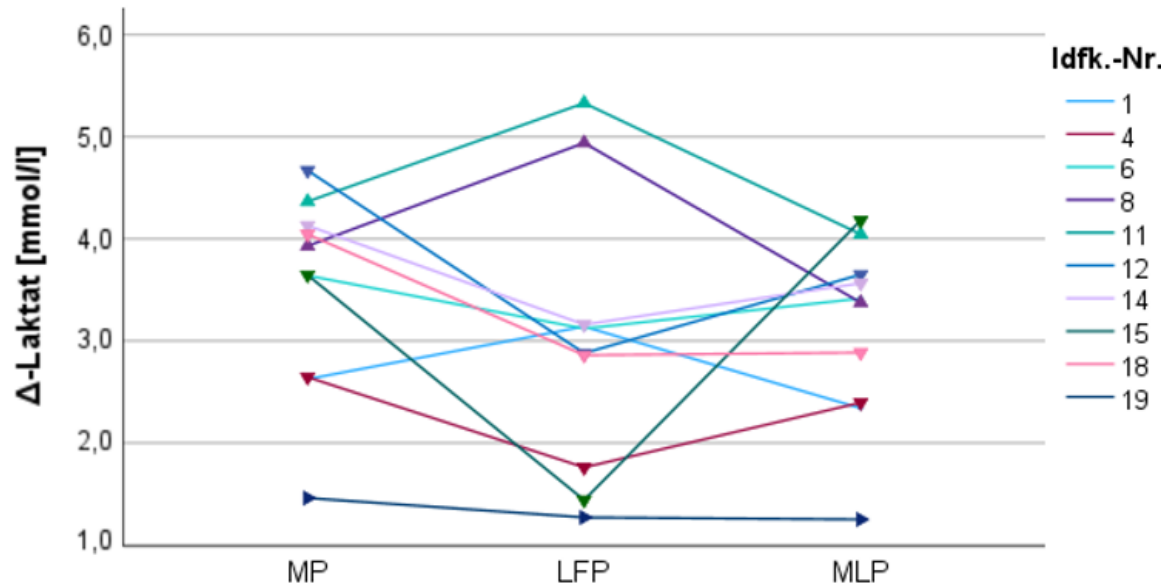


Abbildung 26: Individuelle Verläufe der  $\Delta$ -Laktatkonzentrationen [mmol/l] zwischen der Konzentration nach dem IH und neun Minuten nach Testende.  $\Delta$  = Delta IH = Intervall high; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase  $\blacktriangle$  = Parameter steigt erst und fällt dann;  $\blacktriangleright$  = Parameter fällt stetig;  $\blacktriangledown$  = Parameter fällt erst und steigt dann;  $\blacktriangleleft$  = Parameter steigt stetig.

Am wenigsten Laktat wurde bei den Probandinnen 4, 6, 12, 14, 15 und 18 in der LFP abgebaut, während die Probandinnen 1, 8 und 11 dort am meisten Laktat abbauen konnten. Nur Probandin 19 hatte weder ihr Minimum noch ihr Maximum des  $\Delta$ -Laktats in der LFP.

Tabelle 11 fasst die vorherigen Graphen zusammen und stellt die Zuordnung der individuellen Verläufe mithilfe der Klassifizierung der schlechtesten und besten MZ-Phase auf Basis der prozentualen Abweichung vom persönlichen Mittelwert aller Parameter dar.

Tabelle 11: Tabellarische Einordnung der prozentualen Abweichung der individuellen Verläufe.

ldfk.- Nr.	B [%]	B-Phase	S [%]	S-Phase
1	3	NP	5	MP
4	4	NP	5	MLP
6	1	NP	1	NP
8	5	LFP	3	NP
11	2	NP	5	MLP
12	6	LFP*	3	NP
14	2	NP	5	LFP
15	3	NP	7	MP
18	4	NP	6	MP
19	2	NP	4	NP

MP = Menstruationsphase; LFP = späte Lutealphase; MLP = Mittlere Lutealphase; NP = keine Zuordnung möglich (<5% Abweichung vom eigenen Mittelwert); B [%] = Prozentuale Abweichung vom Mittel der besten MZ-Phase; B-Phase = beste MZ-Phase; S [%] = Prozentuale Abweichung vom Mittel der schlechtesten MZ-Phase; S-Phase = schlechteste MZ-Phase.\* = Zuordnung beruht nur auf einer Testung in beschriebener Phase. Ausgenommen sind dabei das  $\Delta$ -Laktat und  $\Delta$ -RER.

Während sieben von zehn Probandinnen in Anbetracht der schlechtesten MZ-Phase eine durchschnittliche Differenz von mehr als 5% zeigten, konnte nur 20% der Probandinnen eine eindeutige beste MZ-Phase mit der LFP zugeordnet werden. Demgegenüber wurden die restlichen acht Probandinnen als neutral klassifiziert. Die Verteilung der schlechtesten MZ-Phase schien ausgeglichener: 30% der Probandinnen wurden in der neutralen Kategorie eingeordnet. Die Messwerte von ein bzw. zwei Probandinnen zeigten in der LFP bzw. MLP die schlechtesten Werte. Die meisten Probandinnen (n = 3) schnitten jedoch in der MP über alle Parameter hinweg am schlechtesten ab.

## 4 Diskussion

In Kapitel 4 werden die Ergebnisse des vorherigen Kapitels interpretiert und in den aktuellen Forschungsstand eingeordnet. Limitationen der Studie werden im Anschluss genannt.

### 4.1 Einordnung der Resultate

Während in 4.1.1 die Ergebnisse der Studie auf Gruppenebene betrachtet werden, stehen individuelle Veränderungen in 4.1.2 im Vordergrund.

#### 4.1.1 Interpretation der Ergebnisse auf Gruppenebene

Obwohl signifikante Differenzen über den MZ hinweg ausbleiben, zeigen einige Effektstärken auf, dass die geringe Stichprobengröße ( $n = 10$ ) die Ursache der fehlenden Signifikanz darstellen könnte. Somit werden die Hypothesen 1.0 und 2.0 angenommen während die Hypothesen 1.1 und 2.1 verworfen werden, da für dieses Kollektiv auf Gruppenebene weder im Hinblick auf den Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel noch auf die Sauerstoffaufnahmekinetik ein signifikanter Unterschied zwischen den Menstruationsphasen besteht. Auffallend ist das vermehrte Auftreten großer Effekte im IL ( $n = 4$ ) im Vergleich zum IH ( $n = 2$ ), welches bedeuten könnte, dass Trainingseinheiten in der *Heavy Exercise Intensity Domain* eher als in der *Severe Exercise Intensity Domain* und somit bei niedrigerer Intensität beeinflusst sein könnten. Hinzu kommen zwei mittlere Effekte im IL sowie ein mittlerer Effekt im IH.

Den aktuellen Literaturstand bestätigen vor allem die großen Effekte der RPE-Veränderungen über den MZ (IL:  $\eta^2 = 0.195$ ; IH:  $\eta^2 = 0.251$ ), da die subjektive Empfindung der MZ-Auswirkungen weitaus verbreiteter ist als die objektive Beeinträchtigung. Zusammenhängen könnte dies mit der MZ-assozierten Symptomatik, da sieben von zehn Sportlerinnen unter körperlichen und geistigen Symptomen leiden (Brown et al., 2021; Martin et al., 2018), welche sich im RPE widerspiegeln können. Die große Effektstärke der Hf in der IL ( $\eta^2 = 0.168$ ) sowie die mittlere Effektstärke in der IH ( $\eta^2 = 0.088$ ) führen trotz dessen nicht zu signifikanten Ergebnissen. Die erhöhte Hf in der MP (IL:  $141 \pm 13$ ; IH:  $170 \pm 10$ ) und der MLP (IL:  $137 \pm 14$ ; IH:  $168 \pm 9$ ) gegenüber der LFP (IL:  $138 \pm 15$ ; IH:  $170 \pm 9$ ) lässt sich möglicherweise zumindest in der MLP auf die Auswirkungen von Progesteron auf das autonome Nervensystem zurückführen (Baker et al., 2020). Sekundär beeinflusst durch den Temperaturanstieg in der zweiten Hälfte des MZ korreliert die Hf mit der basalen Körpertemperatur (Driver et al., 2008). Ebenfalls etwas niedriger ist der durchschnittliche Energieverbrauch der Teilnehmerinnen im IL in der LFP ( $8.92 \pm 0.82$  kcal/min) im Gegensatz zur MP ( $9.18 \pm 0.76$  kcal/min) und MLP ( $9.06 \pm 0.70$  kcal/min). In

Anbetracht des großen Effektes von  $\eta^2 = 0.171$  könnte dies bei einer größeren Stichprobe zu einem signifikanten Ergebnis führen, sodass die Probandinnen im Durchschnitt leistungsfähiger im IL in der LFP sein könnten, da sie für die gleiche Leistung weniger Energie verbrauchen. Die gleiche Tendenz zeigen die Tau-Werte im IL mit einer mittleren Effektstärke von  $\eta^2 = 0.078$ , da die Sauerstoffaufnahmekinetik in der LFP ( $34 \pm 10$  s) durchschnittlich zwei Sekunden schneller war als in der MP ( $36 \pm 10$  s) und der MLP ( $36 \pm 11$  s). Da der kleinste bedeutsame Unterschied der  $\dot{V}O_2$  bei drei Sekunden liegt, sollte eine Differenz von zwei Sekunden als physiologisch betrachtet werden. Eine große Effektstärke von  $\eta^2 = 0.141$  könnte jedoch auf mögliche Differenzen zwischen den Phasen des MZ hindeuten. Einerseits ist der RER in der MLP zwar am höchsten ( $0.89 \pm 0.02$ ), sodass etwas mehr Energie aus Kohlenhydraten gewonnen wird, obgleich die Kohlenhydratoxidation in absoluten Durchschnittswerten in der MP ( $6.21 \pm 1.10$  kcal/min) maximal ist. Trotz gleichem Start-RER von  $0.83 (\pm 0.03 - 0.05)$  in allen Phasen steigt der RER in der IL mit fortschreitender Zyklusdauer minimal stärker an. Zum einen führt eine erhöhte Östrogenkonzentration hier nicht zu einer verstärkten Fettoxidation, wie es durch die Verabreichung von Östradiol bei Männern angenommen wurde (Maher; et al., 2010; Tarnopolsky, 2008). Zum anderen deutete es nicht darauf hin, dass Progesteron entgegengesetzt zum Östrogen wirkt (Frankovich & Lebrun, 2000). Bei den Laktatkonzentrationen weist sowohl die Konzentration in der Baseline mit einem mittleren Effekt ( $\eta^2 = 0.083$ ) als auch die Konzentrationen am Ende und das  $\Delta$  zwischen der Endkonzentration und dem Messwert neun Minuten nach Testende große Effektstärken (Endkonzentration:  $\eta^2 = 0.233$ ;  $\Delta$ -Laktat:  $\eta^2 = 0.147$ ) auf. Die Ergebnistendenz der erhöhten Laktatkonzentration in der MP dieser Studie widerspricht anderen Untersuchungen, welche niedrigere Laktatkonzentrationen in der MFP gemessen haben (Jurkowski et al., 1981; McCracken et al., 1994). Dort könnten die Ergebnisse jedoch auf Nahrungsunterschiede zurückzuführen sein, die hier aufgrund gleicher RER-Werte zu Beginn der Testungen größtenteils ausgeschlossen werden können. Eine weitere Studie zeigte keine signifikanten Einflüsse auf die Laktatkonzentration durch den MZ (De Souza et al., 1990), welches anhand der vorliegenden Konzentrationen realistischer erscheint und vor allem für die Laktatkonzentration in der IL, welches den submaximalen Bereich darstellt, bestätigt wird, da dort die Effektstärke am Grenzwert zwischen einem trivialen und einem kleinen Effekt mit  $\eta^2 = 0.010$  liegt. Angesichts der vorliegenden Effektstärken lässt sich jedoch festhalten, dass weder der Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel noch die Sauerstoffaufnahmekinetik maßgeblich beeinflusst scheinen, da keine, kleine oder mittlere Effektstärken vorliegen. Auswirkungen auf den subjektiven Parameter der RPE sowie die

objektiven Parameter der Hf und der Laktatkonzentrationen könnten neben der totalen Energieaufnahme und dem RER im IL eher beeinflusst werden. Trotz dessen sind die Ergebnisse für das hier untersuchte Studienkollektiv von natürlich menstruierenden Frauen (n = 10) durchweg nicht signifikant.

#### 4.1.2 Interpretation der Ergebnisse auf individueller Ebene

Durch das nähere Betrachten der individuellen Verläufe, welches sowohl graphisch als auch analytisch erfolgte, ist ersichtlich, dass sich verschiedene, persönliche Reaktionsmuster abzeichnen. Individuelle Differenzen wurden bereits im Bereich der Schlafveränderungen durch den MZ gefunden (Van Reen & Kiesner, 2016). Die fehlende Signifikanz auf Gruppenebene bei gleichzeitig vorliegenden individuellen Veränderungen taucht in der Literatur auch in der sportwissenschaftlichen Forschung auf (Taylor et al., 2024). Dennoch ist aufgrund der großen intraindividuellen Schwankung des MZ eine vorsichtige Interpretation dessen notwendig, da über höchstens zwei MZs Daten der Teilnehmerinnen vorliegen. Daher könnten die beobachteten Schwankungen auf zufällige und zugleich nicht MZ-bezogene Faktoren zurückgeführt werden (Taylor et al., 2024). Außerdem sind die Differenzen zwischen den Phasen, besonders in Bezug auf die „beste MZ-Phase“, oft sehr klein (< 5%), sodass diese die Leistungsfähigkeit nicht zwingend verändern müssten. Sie könnten daher eher für den Leistungssport von Bedeutung sein. Die prozentualen Abweichungen vom individuellen Mittel aller Probandinnen (n = 10) werden in Abbildung 27 graphisch dargestellt.

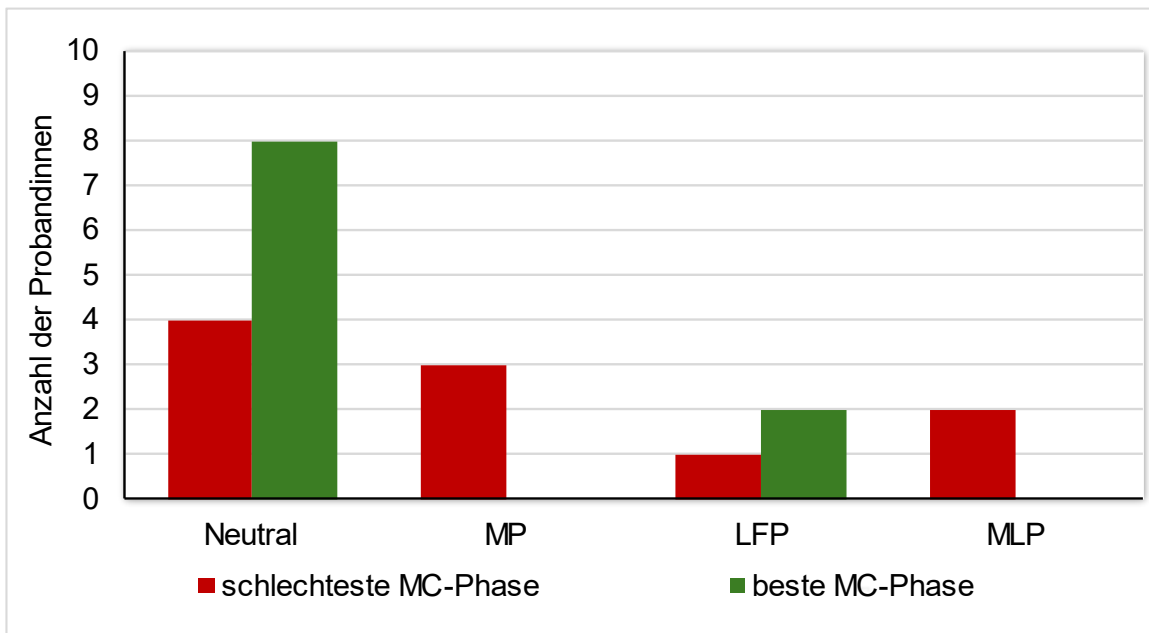


Abbildung 27: Graphische Einordnung der prozentualen Abweichung der individuellen Verläufe. Neutral = keine Zuordnung möglich (<5% Abweichung vom eigenen Mittelwert); MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; rot = schlechteste MZ-Phase; grün = beste MZ-Phase.

Zwei Probandinnen verbesserten die untersuchten Parameter um 5% bzw 6% in der LFP. Eine der beiden Teilnehmerinnen hatte gleichzeitig in der MP mit 3% einen geringen negativen Einfluss. Zwar scheint die negative Abweichung praktisch unbedeutsam, doch deutet die Reihenfolge ihrer Testzeitpunkte auf einen möglichen Einfluss hin, denn jeweils ein Test in der LFP und MLP wurden nach einer Fernreise, nach der sie selber eine Tendenz zu einer verminderten Leistungsfähigkeit aussprach, durchgeführt. Trotz dessen war ihre Leistungsfähigkeit in der MP schlechter, sodass bei Wiederholung der Muster in den kommenden MZs ein Effekt des MZ auf ihre persönlichen Leistungsparameter möglich wäre. Auffallend ist, dass acht der zehn Probandinnen entweder einer besten oder schlechtesten MZ-Phase zugeordnet werden können und nur zwei Probandinnen in beiden Kategorien mit 1%-Variation als neutral klassifiziert wurden. Die Mehrheit der Messwerte zeigte sich in zwei Phasen gleichwertig verbessert, sodass nur eine MZ-Phase ausgemacht werden kann, in der die Leistung anhand der hier ausgewählten Parameter negativ beeinflusst scheint. Dies könnte erklären warum der MZ oft negativ konnotiert wird. Wenn der MZ sich in einer Phase negativ auswirkt und in zwei Phasen nahezu keine prozentuale Abweichung entsteht, wird das Augenmerk stärker auf die Nach- als die Vorteile ausgelegt. Die beiden neutralen Phasen könnten mit einer Art Grundlevel oder Ausgangszustand assoziiert werden. Dies lässt sich auch auf die beiden Probandinnen mit einer besten MZ-Phase übertragen.

Zwei der drei Probandinnen, welche im Hinblick auf die beste MZ-Phase als neutral klassifiziert wurden, wiesen auch bei der Zuordnung zur schlechtesten MZ-Phase keine nennenswerten Auswirkungen auf. Damit sollte der MZ für sie keinen Effekt haben, welches bei genauerer Betrachtung der Parameter nur auf objektive Parameter übertragen werden sollte, da die RPE-Werte um 8 - 13% vom individuellen Mittelwert schwanken. Dies spiegelt das Gesamtbild wider: Subjektive Parameter wie der RPE sind mit 5.7% im Mittel der individuellen Abweichungen stärker vom MZ abhängig als der Durchschnitt aller in die individuelle Analyse einbezogenen Parameter. Dies untermauert die bisherigen Forschungserkenntnisse der vermehrten Auswirkung des MZ auf subjektive Messwerte (Bruinvels et al., 2016). Neben der signifikant höheren Anstrengung in der MP fanden Delp et al. (2023) eine schwächere Regeneration in der gleichen MZ-Phase, welches für künftige Untersuchungen spannend sein könnte. Fraglich ist dann, ob die Trainingsplanung bei stärkerem subjektivem und weniger stark objektivem Einfluss des MZ sich an den MZ-Phasen orientieren sollte, da objektiv eine annähernd gleiche Leistung erbracht wird, diese den Frauen jedoch leichter oder schwerer in bestimmten Phasen fallen könnte. Zur Beantwortung dieser Frage sollte in jedem Fall Trainingsniveau und Symptome miteinbezogen werden. Wenn der RPE ohne starke Symptome und eine damit verbundene schlechtere Befindlichkeit in bestimmten MZ-Phasen ansteigt, muss dies nicht zwingend Auswirkungen auf die Trainingsgestaltung haben. Es könnte jedoch als intensiveres Training wahrgenommen werden. Die Messwerte von drei Probandinnen waren in der MP um 5 - 7% des individuellen Mittels schlechter und bildeten die größten individuellen Abweichungen der Stichprobe (n = 10). Die MLP konnte zweimal und die LFP einmal der schlechtesten MZ-Phase des getesteten Studienkollektivs mit einer jeweils 5% Differenz zugeordnet werden. Der größte Anteil der inkludierten Probandinnen zeigte somit eine Tendenz zur verminderten Leistungsfähigkeit in der MP, welches zumindest in den meisten individuellen Verläufen die Ergebnisse eines Reviews bestätigt (McNulty et al., 2020), aber längst nicht auf alle Frauen übertragen werden kann. Durch die relativ gleichmäßige Verteilung der Probandinnen auf vier Kategorien (neutral: 4; MP: 3; LFP: 1; MLP: 2) wird ein weitere denkbare Teilursache für fehlende Signifikanzen ersichtlich. Neben dem geringen Stichprobenumfang könnten somit die unterschiedlichen Tendenzen der Individuen ausschlaggebend sein, dass auf Gruppenebene keine signifikanten Unterschiede zwischen den Phasen hoher und niedriger Östrogen- und Progesteronkonzentrationen gefunden wurden. Auf individueller Ebene sind wie hier ersichtlich Auswirkungen möglich, die jede Frau für sich persönlich erkennen muss. Hilfreich kann das Tracken des eigenen MZ in Verbindung mit dem Erkennen möglicher

Symptome sein (Bruinvels et al., 2022). Eine Möglichkeit besteht im Führen eines Befindlichkeitstagebuchs oder der Nutzung von Trackingapps. Für die Teilnehmerinnen kann es nach Abschluss der Studie sehr hilfreich sein die neu gewonnenen Informationen ins Training zu integrieren und sich und ihren Körper etwas besser zu verstehen. Genauso wie individuelle Schwankungen (5 – 7%) sind einige Veränderungen im MZ-Verlauf marginal (< 5%). Beide Varianten liefern Erkenntnisse für die Trainingsplanung, die in jedem Fall individuell abgestimmt sein sollten. Überprüft werden sollten die vorliegenden Tendenzen, welche sich bei 60% der Probandinnen hin zur Einordnung der schlechtesten MZ-Phase und bei 20% zur besten MZ-Phase bewegten. Es sollte abschließend festgehalten werden, dass die Auswirkung des MZ, insofern er einen individuellen Einfluss hat, entweder in die positive oder negative, aber nicht in beide Richtungen geht.

## 4.2 Herausforderungen einer Zyklusstudie

Im folgenden Unterkapitel werden die Herausforderungen einer Zyklusstudie beschrieben, indem näher auf die aufgetretenen Zyklusunregelmäßigkeiten der Probandinnen (4.2.1) sowie die Schwierigkeiten der Phasenverifikation (4.2.2) eingegangen wird.

### 4.2.1 Zyklusunregelmäßigkeiten der Studienteilnehmerinnen

Bei neun der 23 Frauen, welche mit den Testungen begonnen haben, konnte in keiner der MZ's ein LH-Anstieg mithilfe der Ovulationstests ermittelt werden, sodass diese Teilnehmerinnen als „anovulatorisch“ eingeordnet oder aufgrund unphysiologischer Zyklusdauer ohnehin exkludiert wurden. Obgleich eine MZ-Länge von 25-35 Tagen im Erwachsenenalter bereits als starker Indikator ovulatorischer Zyklen gilt (Magyar et al., 1979), haben zwei Teilnehmerinnen bei einer MZ-Länge von 29 bzw. 30 Tagen im Mittel dennoch keine Ovulation. Die Gründe für das Ausbleiben des Eisprungs sind hier nicht ersichtlich. Der MZ einer der erwähnten Probandinnen unterlag jedoch starken intraindividuellen Schwankungen von bis zu zehn Tagen und überschritt den Grenzwert von bis zu acht Tagen intraindividuellen Unterschiedes in der Zykluslänge (Hacker et al., 2015). Drei Probandinnen liegen mit einem Durchschnitt von 22 (n = 1) bzw. 24 (n = 2) Tagen zwar innerhalb der Norm physiologischer MZ-Längen, aber unterhalb des Grenzwertes für MZ-Längen mit Ovulation (Magyar et al., 1979). Der Grenzwert wurde durch das negative Ergebnis der Ovulationsstreifen bestätigt. Somit gab es keinen MZ, der kürzer als 25 Tage lang war indem ein Eisprung stattgefunden hat. Einen Sonderfall gab es in einem längeren MZ einer Probandin, der im Gegensatz zu den anderen vier Zyklen nicht 22 Tage lang war und bei einer Länge von 28 Tagen und dem Vorhandensein des LH-Anstiegs nicht in das für sie übliche MZ-Muster passt. Eine weitere Probandin hat mit einer MZ-Länge von 29

Tagen nur innerhalb der Hälfte der beobachteten Zyklen ovuliert. Sie berichtet von verstärkten Beschwerden innerhalb der ovulatorischen Zyklen. Überraschend ist dabei allerdings, dass Parameter wie der RPE (9%), das Laktat (15%), das Tau (7%) und das  $\Delta$ -Rer (10%) im anovulatorischen Zyklus höher ausfallen. Der höhere Wert des RPE's könnte mit stärkeren Symptomen, die insbesondere an den ersten Tagen des Zyklus bei ihr aufgetreten sind, in Verbindung gebracht werden. Ein Unterschied des allgemeinen Wohlbefindens nach dem Abklingen der Symptome im Verlauf des MZ könnte die Ursache bilden. Bei beiden teils ovulierenden Frauen ist die Kohlenhydratoxidation (6 bzw. 10%) in anovulatorischen Zyklen verstärkt. Die Hormonkonzentrationen während MZ's ohne Eisprung schwanken weniger stark, da weder Östrogen noch Progesteron so stark ansteigen wie in ovulatorischen Zyklen und sich somit weniger vom männlichen Geschlecht unterscheiden. Dies könnte die angenommenen Geschlechtsunterschiede (Tarnopolsky, 2000; Timmons et al., 2005), die eher in absoluten Hormonkonzentrationen ausgedrückt werden sollten, im Energiestoffwechsel für eumenorrhöische Frauen bestätigen und gleichzeitig für nicht regelmäßig menstruierende Frauen in Frage stellen. Als strittig in der methodischen Herangehensweise könnte der Umgang mit einer einmaligen Anovulation gesehen werden, da das Vorkommen sporadischer Anovulation bei ca. 10% der Frauen auftritt (Mumford et al., 2011). Ihr MZ müsste deshalb nicht zwingend als unregelmäßig bezeichnet werden. Für Studien müssen betroffene Frauen laut Janse et al. (2019) exkludiert werden. Denkbar wäre auch die Testungen in den MZ, in denen sie laut der Serumproben ovulierten, trotzdem für die ovulierende Gruppe zu verwenden, wie es hier bei einer Probandin (n = 1) der Fall war, oder eine weitere Gruppe von teilweise ovulierenden Frauen zu bilden. Im Hinblick auf das Gesamtbild des MZ ist es dringend notwendig mehr Studien speziell für anovulatorische Frauen sowie Frauen mit Zyklusstörungen durchzuführen, da diese Sparte im momentanen Forschungsstand noch weniger aussagekräftig ist als das teils kontroverse Bild der Auswirkungen auf eumenorrhöische Frauen. Lediglich das Vorkommen verschiedener Menstruationsstörungen, zu denen beispielsweise die Amenorrhoe, Anovulation, Primäre Hypermenorrhoe und das Prämenstruelle Syndrom zählen, wurde bei Sportlerinnen im vergangenen Jahr großflächig mit über 6000 inkludierten Probandinnen diverser Studien zusammengefasst (Taim et al., 2023). Aus den gewonnen Erkenntnissen sollten sowohl Management- und Präventionsstrategien (Taim et al., 2023) als auch Folgedesigns zur Untersuchung der Beeinflussung sportlicher Aktivität durch Menstruationsstörungen entwickelt werden.

Entscheidenden Einfluss darauf hat der Körperfettanteil, da ein regelmäßiger MZ mit Ovulation mindestens 22% Körperfett benötigt (Speroff & Fritz, 2005). Eine Reduktion bzw. Unterdrückung der GnRH-Ausschüttung kann aber auch durch psychischen Stress, übermäßige Bewegung oder einer Kombination dieser und weiterer Faktoren zur verringerten FSH- und LH-Konzentration führen (Morrison et al., 2021), sodass anovulatorische Zyklen oder das Ausbleiben des MZ folgen können (Gordon et al., 2017). In dieser Studie mussten fünf Probandinnen aus unterschiedlichen Gründen exkludiert werden (siehe Abbildung 28).

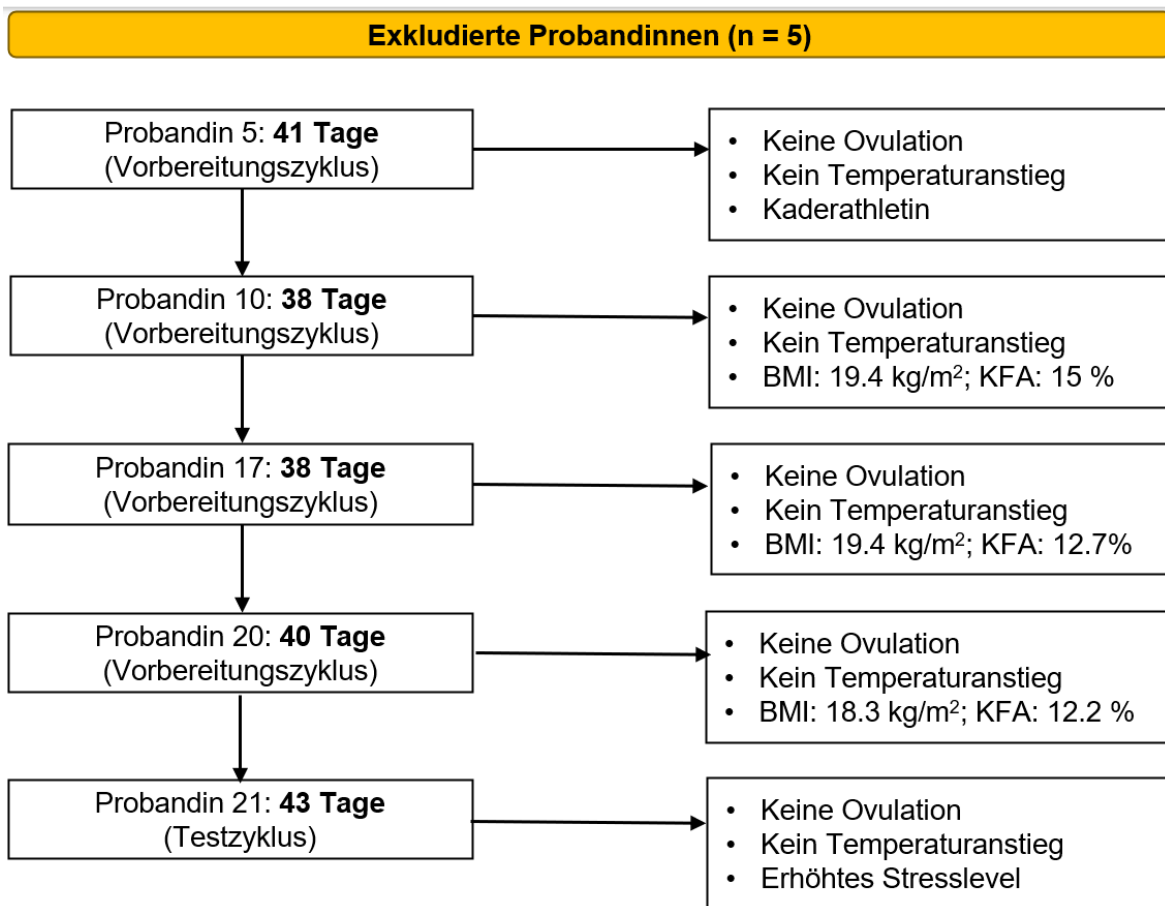


Abbildung 28: Zusammenfassung der MZ's exkludierter Probandinnen und möglicher Ursachen. BMI = Body-Mass-Index [kg/m<sup>2</sup>]; KFA = Körperfettanteil [%]

Drei der fünf Sportlerinnen, die aufgrund ihrer Zykluslänge komplett ausgeschlossen wurden, haben einen Körperfettanteil von unter 15%, welches eine Teilursache des verlängerten MZ darstellen könnte. Bestätigt wird dies durch die Korrelation eines geringen Körperfettanteil mit einer geringen Östrogenkonzentration (Ziomkiewicz et al., 2008). Allerdings überschritt der MZ bei vier der fünf exkludierten Studienteilnehmerinnen erst- und bisher letztmalig die Grenze physiologischer MZ, sodass der Körperfettanteil nicht alleine dafür verantwortlich sein kann. Ebenfalls mit verminderten Östrogenkonzentrationen hängt

eine negative Energiebilanz zusammen (Ziomkiewicz et al., 2008), welche auch zur Verlängerung des MZ beigetragen haben kann. Anhand der Berichte der betroffenen Probandinnen könnte vermehrter Stress als Erklärung dienen und mit anderen Faktoren wie einem niedrigen Körperfettanteil oder vermehrter Bewegung in Kombination zu einem unregelmäßigem MZ führen. Je höher der Stressfaktor, desto niedriger ist die Östrogen-LH- und Progesteronkonzentration, sodass die Wahrscheinlichkeit eines anovulatorischen Zyklus ansteigt (Schliep et al., 2015). Ergänzende Informationen könnte die Metabolomics-Analyse anhand der Cortisolwerte im Anschluss bieten. Diese stehen allerdings nur für die exkludierte Probandin, welche bereits einen Testzyklus durchlaufen hat, zur Verfügung, da die benötigten Microshells ausschließlich in den zwei Testzyklen und nicht im Vorbereitungszyklus verwendet werden. Die Erklärung des verlängerten Zyklus bei der vierten Probandin liegt wahrscheinlich im hohen Trainingsvolumen innerhalb des mehrwöchigen Trainingslagers während des verlängerten MZ, da intensitätsunabhängig eine höhere Anzahl der Trainingsstunden das Risiko einer Oligomenorrhoe steigert. (Baranauskas et al., 2023). Die Ursache der Reproduktionsstörungen im erhöhten Stresslevel oder verringertem Körperfett zu sehen, wird teilweise in Frage gestellt (Loucks, 2003a). Entscheidenden Einfluss soll die verminderte Energieverfügbarkeit, welches das Verhältnis der Energiezufuhr mit der Nahrung und Energieaufwand bei körperlicher Betätigung beschreibt, mit einem Schwellenwert zwischen 20 und 30 kcal\*kg<sup>-1</sup>\*d<sup>-1</sup> der fettfreien Körpermasse fällt (Loucks, 2003a). Der Auslöser des verlängerten Zyklus, bei der Probandin, die sich im Trainingslager befand, läge laut Loucks (2003a) nicht im sportlichen Umfeld sondern alleinig in der verhältnismäßig zu geringen Nahrungsaufnahme bei ihrem Aktivitätslevel. Der MZ der fünften exkludierten Probandin variiert in der Regel zwischen 34-36 Tagen, sodass sich ihr Zyklus regelmäßig wiederholt, sich jedoch an der oberen Grenze physiologischer Zyklen eingependelt hat.

Darüber hinaus gelten Lutealphasendefekte als die häufigste Zyklusanomalie im Zusammenhang mit Sport (De Souza et al., 2010). Es findet zwar eine Ovulation statt, die LP fällt jedoch aus verschiedenen Gründen wie einer verringerten Progesteronkonzentration kürzer aus (Balasch & Vanrell, 1987), sodass das Limit der Progesteronkonzentration von 16 nmol/l bei einer alleinstehenden Messung (Janse et al., 2019) ähnlich wie bei anovulatorischen Zyklen nicht erreicht wird. Dies bleibt jedoch bei vielen regelmäßig menstruierenden Frauen ohne hormonelle Untersuchungen unerkannt (Loucks, 2003b). So besteht auch hier bei einer Probandin der Verdacht auf einen Lutealphasendefekt, der medizinisch mit einer endokrinologischen Untersuchung abgeklärt

werden sollte (Loucks, 2003b). Ohne die Studienteilnahme wäre diese Unregelmäßigkeit zunächst unbemerkt geblieben.

Durch das Variieren des ersten Testzeitpunktes in den Testzyklen sollte die Verwechslung möglicher signifikanter Ergebnisse mit einem Trainingseffekt vermieden werden. Die Ergebnisse deuten nicht auf eine Verbesserung der Performanceparameter durch das wiederholte Absolvieren des submaximalen Tests hin. Trainingsphasen mit unterschiedlichen Volumina, Umfängen und Intensitäten variieren während einer Saison und können sich dadurch auf die Länge des MZ auswirken (Karacan et al., 2013), welches bei zwei Probandinnen der Fall gewesen sein könnte. Einerseits könnte ein Wettkampf und die damit zusammenhängende Vorbereitung für einen um zwei Tage verkürzten Zyklus und einmal für einen drei Tage verlängerten Zyklus verantwortlich sein. In weiteren Forschungsarbeiten sollten denkbare Trainingseffekte, deren Auswirkung sich mit derer möglicher MZ-Phasen überschneiden könnte, nicht unbeachtet bleiben.

#### 4.2.2 Problematik der Hormonmessungen und Phasenverifikation

Neben Untersuchungen der vordefinierten Zyklusphasen finden die täglichen, hormonellen Schwankungen in der Forschung keine Berücksichtigung (Bruinvels et al., 2022), obgleich tägliche Hormonmessungen zweifellos die genaueste Möglichkeit zur Bestimmung der MZ-Phase sind und dadurch die Unterscheidung ovulatorischer und anovulatorischer Zyklen vereinfachen würden. So geht ein 3-Phasen-Modell, welches bereits mehr unterschiedliche hormonelle Milieus erforscht als die Mehrheit der bestehenden Studien, von gleichbleibenden Hormonspiegeln innerhalb dieser Phasen aus (Bruinvels et al., 2022). Dies können sich innerhalb eines Tages bereits maßgeblich verändern (Davis & Hackney, 2017). Vermehrte Hormonmessungen sind für Leistungssportlerinnen in Verbindung mit Leistungszentren eher umsetzbar und davon abgesehen für sie wahrscheinlich von größerer Bedeutung, um aus ihrem MZ Leistungsvorteile zu ziehen (Meignié et al., 2021). Insbesondere den Östrogenpeak in der LFP zu treffen, gestaltet sich in der Praxis ohne die direkte Auswertung vermehrter Blut- oder Speichelproben als schwierig, da der Eisprung vor dem wirklichen LH-Anstieg nur mithilfe des kalendarischen Zählens abgeschätzt werden kann. Erst im Nachhinein zeigt der Ovulationsstreifen, ob der Zeitpunkt passend gewählt wurde. Hinzu kommt die intraindividuelle Variation in der Zykluslänge, die bis zu sieben Tage lang war und die präzise Annahme des Ovulationszeitpunktes enorm beeinträchtigte. Der vermehrten sportlichen Testung beispielsweise mit dem Ziel den Östrogenpeak zu treffen, steht eine mögliche Verfälschung der Leistung gegenüber, da die EFP mit einer verlängerten Erholungsperiode in Verbindung gebracht wird (Romero-Parra et al., 2021). Im Falle direkt aufeinanderfolgender Testungen könnte die nächste Testung schon

absolviert werden, bevor die Erholung von der vorherigen Messung abgeschlossen ist (Špenko et al., 2022), sodass die Ergebnisse der einzelnen MZ-Phasen bei unzureichender Regeneration nicht ohne Vorbehalt verglichen werden sollten. Mit Beachtung des Zusammenhangs zwischen Fitnesslevel und Erholung (Facioli et al., 2021) könnten Testungen in näheren Abständen geplant werden, um die MZ-Phasen besser einzuhalten. Vor allem in schwierig zu verifizierenden Phasen wie dem Östrogen-Peak kurz vor der Ovulation könnte dies helfen. In der MP ist eine zusätzliche Belastung aufgrund der sichtbaren Menstruationsblutung und der womöglich verlängerten Regeneration (Delp et al., 2023; Romero-Parra et al., 2021) nicht nötig. Da über 80% der menstruierenden Frauen negativ assoziierte Symptome an Zyklustag 1 und 2 wahrnehmen (Martin et al., 2018), könnte in der MP zwischen den ersten beiden und den darauffolgenden Zyklustagen unterschieden werden. Obwohl die Hormonkonzentrationen sich nicht unterscheiden, können MZ-Symptome eine verstärkte Rolle spielen. Innerhalb dieser Studie wurde im Durchschnitt an Tag  $4 \pm 1$  getestet, sodass die mögliche Verbesserung vorliegender MZ-Symptome zur fehlenden Signifikanz beigetragen haben kann.

Um bestehenden MZ-Symptomen noch mehr Bedeutung zukommen zu lassen, sollten weitere Alternativen zu den invasiven und zudem kostenaufwendigen Methoden wie den Blut- und Speichelproben gefunden werden (Julian & Sargent, 2020). Diese schrecken Probandinnen eventuell ab (Julian & Sargent, 2020) und führen zu höheren Drop-Out-Raten (Julian et al., 2017; Julian et al., 2021), die innerhalb dieser Studie nicht bestätigt wurden. Die Anpassung von der Überwachung des MZ-Status in Forschung und angewandter Praxis erscheint daher nicht sinnvoll, da Hormonprofile weniger genau analysiert werden und mögliche Wechselwirkungen mit Leistungsparametern und Auftreten von Verletzungen nicht entdeckt werden würden. Trotz dessen müssen zeit- und kosteneffektivere Optionen (kalendarbasiertes Zählen, LH-Tests, Zervixschleim) (Morishita et al., 1979) für den Alltag der Frauen gefunden werden, denn selbst weniger valide Methoden sind in jedem Fall besser als seinen eigenen MZ nicht zu tracken.

### 4.3 Stellenwert des MZ

Die teils fehlende Aufklärung der Probandinnen bezüglich ihres eigenen MZ spiegelt das aktuelle Forschungsbild, das noch immer von Wissenslücken und Kommunikationsbarrieren zwischen Athletinnen, TrainerInnen und anderen Stakeholdern geprägt ist, wider (McGawley et al., 2023). Ein kultureller Wandel hin zu offenen Gesprächen über den MZ ist notwendig, um die Forschung und deren praktische Umsetzung voran zu treiben (Elliott-Sale et al., 2020). Die Schärfung des Bewusstseins

sowohl für negative als auch positive Symptome im Zusammenhang mit der physiologischen Variation der Hormone während des MZ sollte bei Sportlerinnen und Ärzten an erster Stelle stehen (Bruinvels et al., 2022). Durch selbstständiges Tracken ihres Zyklus wurde die Phasenverifikation und das Erkennen möglicher Symptommuster vereinfacht, da eine Vielzahl von Daten zur Verfügung stand. Auffallend war die Tendenz der vermehrten Symptomzuschreibung einzelner MZ-Phasen, sobald die Studienteilnehmerinnen sich in ihrem Alltag genauer mit ihrem MZ befassen. Dies bestätigt die Vermutung, dass einige Frauen ihre Symptome erst mit ihrem MZ in Verbindung bringen sobald ihre Erfahrung und ihr Bewusstsein für ihren MZ durch vermehrtes Aufzeichnen dessen wächst (Brown et al., 2021). Zusätzlich sollten Tools zur Einordnung der Ausprägung des Schmerzes wie die visuelle Analogskala (Sung & Wu, 2018) in Studien verwendet werden, um nicht nur herauszufinden welche Symptome auftreten sondern auch wie stark diese sind. Im Bereich der maximalen Ausdauerfähigkeit wurde bereits bestätigt, dass die Schmerzschwelle eine wichtige Kovariante darstellt (Recacha-Ponce et al., 2023). Denkbar ist dies auch in der submaximalen Trainingszone.

Aufgrund uneindeutiger Forschungsergebnisse lassen sich viele WissenschaftlerInnen im Wesentlichen in zwei Denkschulen unterteilen, die möglicherweise auf die teilnehmenden Sportlerinnen übertragen werden können:

- Diejenigen, die glauben, dass die hormonellen Veränderungen während des MZ den Stoffwechsel der Frau während des Trainings beeinflussen,
- und diejenigen, die der Auffassung sind, dass die hormonellen Veränderungen des MZ keinen Einfluss auf den Stoffwechsel der Frau während des Trainings haben (Hackney, 2021).

Dies könnte auf einen Teil der Probandinnen übertragen werden, da bei fehlender Auseinandersetzung mit dem eigenen MZ Veränderungen womöglich unterdrückt werden. Dies kann sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich bringen. Auf der einen Seite kann die Sportlerin nicht so gut auf mögliche physische und psychische Veränderungen während des MZ eingehen, sodass ein besseres Verständnis der MZ-Symptome und das Finden geeigneter Methoden zur Linderung dieser verhindert wird (Bruinvels et al., 2022). So stellt es sie aber auch nicht vor mentale Herausforderungen, wenn Wettkämpfe in einer für sie negativ konnotierten MZ-Phase stattfinden. Eine andere, weniger subjektive Erklärung besteht in der Theorie der Low- und High-Responder, welche bisher ungeklärt ist (Carmichael et al., 2021). Denkbar ist, dass einige Athletinnen mehr oder minder anfällig für zyklusbedingte Leistungsunterschiede sein könnten (Julian et al., 2021). Grund dafür

könnte die individuelle Ausprägung der Menstruationssymptome (Potter et al., 2009) sein. Subjektive Empfindungen könnten gesteuert werden, da die Mehrheit aber nicht alle Athletinnen deutliche Veränderungen von Fitness und Nebenwirkungen (Armour et al., 2020; Solli et al., 2020) sowie negativen Symptomen (Bruinvels et al., 2022) während des MZ wahrnimmt. Daraus resultieren sollte die Untersuchung individueller Unterschiede je nach Grad der Hormonempfindlichkeit. Im Gegensatz zu dem Versuch der Voraussage einheitlicher MZ-Effekte auf Forschungsebene (Joyce et al., 2021) sollten individuelle Handlungsansätze weit weg von allgemeinen Leitlinien zum Umgang mit ihrem MZ geschaffen werden (McNulty et al., 2020). Ein sehr effektiver, mit wenig Aufwand verbundener Ansatz liegt in der Aufzeichnung des Zyklus mit MZ-assoziierten Symptomen, um das eigene Hormonprofil leichter zu verstehen.

#### 4.4 Limitationen

Innerhalb der Studie wurden zunächst 23 Probandinnen rekrutiert, von denen 18 die Testungen mit einer Zyklusdauer von zwei (n = 14) bzw. einem (n = 4) vollständigen MZ absolviert haben. Die Studiendauer wurde zwei Mal aufgrund langwieriger Krankheiten verkürzt (vier Testungen, sechs Testungen), da der Stufentest, an dem sich die Intervallhöhe der submaximalen Testungen orientiert, nicht mehr ihren aktuellen Leistungsstand abgebildet hätte. Ebenfalls zweimal wurde die Testphase von geplanten drei Monaten inklusive Vorbereitungszyklus auf zwei Monate herabgesetzt. Dieses Vorgehen ist aus vergleichbaren Studiendesigns bekannt (Taylor et al., 2024). Im Allgemeinen werden wiederholte Messungen über mehrere MZ-Zyklen empfohlen (Janse et al., 2019), die hier bei der Mehrheit der Probandinnen (n = 16) durchgeführt worden sind. Deren Ergebnisse können allerdings nicht vollständig in die Analyse miteinbezogen werden, sobald die Phasenverifikation nicht erfolgreich war. Am Ende konnten zehn Probandinnen in die Analyse einbezogen werden. Laut Jeukendrup et al. (1996) schließen viele Studien aufgrund fehlender signifikanter Differenzen bei der Messung der Zeit bis zur Erschöpfung auf das Ergebnis „es gibt keinen Effekt“. Sie könnten jedoch auch zu dem Schluss kommen, dass „es nicht möglich war einen Effekt nachzuweisen“ (Jeukendrup et al., 1996). Diese Aussage kann womöglich übertragen werden, denn die relativ geringe Stichprobengröße war möglicherweise nicht ausreichend, um statistisch signifikante Ergebnisse zwischen den submaximalen Parametern zu erlangen.

Eine doppelte Verblindung ist im Bereich der Menstruationsforschung nicht möglich, da nicht vermieden werden kann, dass die Teilnehmerinnen wissen in welcher Zyklusphase sie sich befinden. Innerhalb dieser Studie wusste auch die Untersucherin in welcher Phase

die Sportlerinnen sich befinden, da sie die Termine mit Ihnen festgelegt hat und stetig auf dem Laufenden gehalten wurde, ob beispielsweise die Menstruationsblutung eingesetzt hat oder Ovulationstests positiv ausgefallen sind. Für den reibungslosen Testablauf ist dies unerlässlich, mit Betrachten des Gesichtspunktes der Verblindung ist diese somit auch auf UntersucherInnen-Ebene nicht umsetzbar.

Obgleich intraindividuelle Unterschiede im Zyklus einer Frau üblich sind (Eisenlohr-Moul, 2021), ist fraglich ob der unregelmäßige Beginn der Menstruationsblutung zumindest zu Teilen aus dem Stress, der durch den festgelegten Testtermin entsteht, resultiert. Bei den Erst- bzw. weiteren Testungen während der EFP haben zwölf der 18 Probandinnen mindestens einen ihrer Termine durch das fehlende Einsetzen ihrer Monatsblutung verschieben müssen. Denkbar ist deshalb, dass die Probandinnen sich selber unter Druck gesetzt haben und dies der Auslöser für unregelmäßige Menstruationszeitpunkte war, da Cortisol und Stress sich auf die Hypothalamus-Hypophysen-Achse auswirken (Fritz & Speroff, 1983). Stressempfinden äußerten die Probandinnen ausschließlich sobald ihr Zyklus die sonstige Zyklusdauer übertraf und nicht unterschritt. Sie nannten verschiedene Auslöser des Stressgefühls wie Arbeit und Abschlussarbeiten ( $n = 7$ ) neben körperlichem Stress durch Marathonrennen ( $n = 2$ ). Ein gutes Beispiel stellt eine Probandin dar, deren durchschnittliche Zykluslänge seit acht Monaten bei ca. 22 Tagen liegt. Mit einer rund sieben Tage längeren Zyklusdauer in den vorhergehenden Jahren bemerkte sie seit dem Auftreten ihres verkürzten MZ ein erhöhtes Stresslevel, welches durch erhöhte Cortisolspiegel medizinisch bestätigt wurde. Weder ihr Training noch ihre Körperzusammensetzung haben sich während des letzten Jahres verändert, sodass der erhöhte Stressfaktor als Ursache der MZ-Verkürzung dienen könnte. Fernreisen ( $n = 2$ ) haben wiederum nicht zu Zyklusveränderungen geführt. Interessant wäre es somit das Stressempfinden in zukünftigen Studien zu allen Testzeitpunkten abzufragen.

Obwohl die als methodischer Goldstandard empfohlene dreischrittige Verifikationsmethode nach Janse et al. (2019) verwendet wurde, gestaltete sich die Verifikation des MZ als schwierig. Obgleich eine von der gesamten Zyklusdauer relativ unabhängige Länge von 14 Tagen für die LP als Durchschnitt gilt, zeigt auch die Literatur leichte Differenzen, welche enorme Auswirkungen auf die Planung der Testzeitpunkte haben. Von  $14.4 \pm 2.4$  Tagen (Marcinkowska, 2020) über 13 Tage (Cole et al., 2009) hin zu  $11.7 \pm 2.8$  Tagen (Najmabadi et al., 2020) liegt der Durchschnittszyklus hier bei  $29.1 \pm 1.5$  und einem Testtag der LFP an Tag  $13.6 \pm 0.8$ . Der Test in der LFP sollte kurz vor der Ovulation stattfinden, welche durch darauffolgende positive Ovulationstests bestätigt wurde, sodass die 14-tägige Lutealphase in den inkludierten Zyklen realistisch scheint. Innerhalb des 95%-Konfidenzintervalls liegen

alle Lutealphasen mit einer Länge zwischen neun und 17 Tagen (Cole et al., 2009), sodass die theoretisch konstante Länge von 14 Tagen praktisch nicht zwingend gegeben ist. Fraglich ist deshalb inwiefern diese Annahme auf Frauen mit kürzeren MZ übertragen werden kann, da bei den Sportlerinnen, die hier einen Durchschnittszyklus von weniger als 26 Tagen hatten, keine Ovulation anhand der LH-Tests nachgewiesen werden konnte. Zudem sind rund 48% der Freizeitsportlerinnen von einem Lutealphasendefekt betroffen (De Souza et al., 1998), sodass die Annahme einer konstanten 14-tägigen LP bei ähnlichen Stichproben wie dieser zu einer Verzerrung der Messergebnisse führen würde und deshalb anhand der Hormonkonzentrationen überprüft werden muss. Ein Hinweis auf einen Lutealphasendefekt gab es in einem Zyklus einer Probandin, da ihr Eisprung acht Tage vor Beginn ihrer nächsten Periode detektiert werden konnte, sodass sie für die endgültige Analyse exkludiert wurde.

Der Planungsaufwand wäre vermindert gewesen, wenn eine direkte Analyse der Blutproben möglich gewesen wäre. Die vermuteten MZ-Phasen hätten unmittelbar anhand der Hormonkonzentrationen bestätigt werden können. Dies war jedoch aufgrund des begrenzten Budgets nicht möglich, sodass sie erst nach Abschließen aller Testungen in einem externen Labor untersucht werden. Weil das Budget zum momentanen Zeitpunkt noch nicht zur Verfügung steht, wurden die Zykluszeitpunkte in dieser Masterarbeit vor allem anhand des kalendarischen Zählens und der Ergebnisse der Ovulationstests verifiziert.

Problematisch waren außerdem falsche Angaben zur Zykluslänge, die alleinig dann vorgekommen sind, wenn Probandinnen ihren Zyklus vor Studienbeginn nicht getrackt haben. Wenn der Vorbereitungszyklus beispielsweise nach 27 Tagen endet, eine Probandin aber im Voraus eine durchschnittliche Zykluslänge von 33 Tagen angegeben hat, kommen folgende Schwierigkeiten bei der Terminfestlegung auf, da verschiedene Szenarien denkbar sind:

- Die Zykluslänge von der Teilnehmerin schwankt tatsächlich um sieben Tage, da sie bei einer Frau um bis zu acht Tagen schwanken kann (Hacker et al., 2015).
- Die Probandin hat ihre Zykluslänge falsch eingeschätzt, sodass ihre Zykluslänge ca. 27 Tage beträgt.

Um dies besser abzuschätzen, sollten Ovulationsstreifen genutzt werden, die leider für eine kurze Zeit nicht mehr lieferbar waren, sodass bei zwei Probandinnen, unter anderem bei der oben genannten Teilnehmerin, in einem Zyklus ohne die Zusatzhilfe zur korrekten Verifikation die Testzeitpunkte bestimmt werden mussten. Weder in der Apotheke noch

online waren die Ovulationskits „DAVID“ verfügbar, sodass wir danach auf ein anderes Modell der gleichen Firma (MedNet EC-REP GmbH, Münster, Deutschland) zurückgreifen mussten. Diese haben im Gegensatz zu den vorher verwendeten Teststreifen, die eine Range von 0-80 mIU/ml haben, eine Sensitivität von 20 mIU/ml. Es lassen sich somit keine genauen Werte ablesen und geringere Veränderungen sind folglich nicht nachweisbar. Eine falsche Klassifizierung als anovulatorischer Zyklus ist bei Frauen, deren LH-Werte unter den physiologischen Durchschnittswerten der LH-Konzentration liegen, denkbar, weil die im Urin vorhandene LH-Menge nicht ausreicht, um eine Farbveränderung des Teststreifens auszulösen (Marcinkowska, 2020). Wider Erwarten hat das neue Testmodell zu einer höheren Anzahl an ovulierenden Frauen geführt (12 vs. 14). Hinzu kommt, dass die soeben thematisierte Probandin genau wie ein paar andere Probandinnen im Vorbereitungszyklus die Teststreifen trotz Aufklärung falsch angewendet haben, sodass dort Angaben zur stattgefundenen Ovulation gefehlt und somit das Testprozedere erschwert haben. Bei richtiger Anwendung und gleichzeitig fehlendem Ovulationsnachweis (n = 2) wurden weitere Testungen nach dem Vorbereitungszyklus um einen weiteren MZ pausiert und entsprechen somit den methodischen Leitlinien von Janse et al. (2019). Dieses Prozedere wurde bei falscher Anwendung nicht durchgeführt, da eine erneute Erklärung der Anwendung erfolgte. Obgleich die ursprünglich verwendeten Ovulationsstreifen „DAVID“ laut Hersteller eine 99,5% Genauigkeit aufweisen sollen und sie im Voraus getestet wurden, berichtet eine Probandin, die sich über die Studie hinaus Ovulationsstreifen einer anderen Marke zugelegt hat, dass diese bei ihr im Gegensatz zu den hier verwendeten Teststreifen ein positives Ergebnis gezeigt haben. Um herauszufinden welcher der Tests zur tatsächlichen LH-Konzentration passt, müssen die Blutanalysen abgewartet werden. Aufgrund einer starken individuellen Schwankung der Zykluslänge wurde bei ihr ein weiterer Test in der LP durchgeführt.

Aufgrund terminlicher Probleme seitens der Probandinnen wurden einige Termine angehängt. Einerseits liegen nicht nur die Daten vollständiger, aufeinanderfolgender Zyklen vor, andererseits können daraus Vorteile entstehen, weil die Probandinnen über eine längere Zeit begleitet worden sind, sodass mehr Informationen zum persönlichen Verlauf des MZ vorliegen. Die zur Blutabnahme berechtigten Personen waren ausschließlich an Werktagen verfügbar, sodass Wochenenden und Feiertage die Organisation erschwerten, da beispielsweise vor der Ovulation in der LFP einen bis drei Tage vor Ovulation getestet werden sollte, sodass sich vermehrt nur ein Werktag im passenden Zeitrahmen befunden hat. Eine ähnliche Zeitspanne wurde für die MLP festgelegt, jedoch ist das Zeitintervall mit erhöhter Progesteron- und Östrogenkonzentration länger als der Östrogenpeak vor dem

Eisprung. Aufgrund dessen haben Stricker et al. (2009) den möglichen Rahmen der mittleren LP auf +5 bis +9 Tage nach Ovulation festgelegt. Eine andere Studie erreichte nicht nach sechs sondern nach sieben bis neun Tagen nach dem Eisprung die höchste Wahrscheinlichkeit die MLP zu treffen (Schaumberg et al., 2017), sodass der aktuelle Stand der Literatur auch Testungen am neunten Tag nach der Ovulation mit der MLP assoziiert. Dies wird in der Phasenverifikation berücksichtigt.

Neben der Substratverwertung (Ashley et al., 2000), welche durch den RER (D'Eon et al., 2002) gespiegelt wird, ist die Laktatkonzentrationen (Berend et al., 1994) von der Ernährung beeinflusst. Die Probandinnen wurden anhand ihres 24-stündigen Ernährungsrecalls dazu angehalten vor den weiteren Testungen so ähnlich wie möglich zu essen, doch hätte es zum Ausschluss dieses Einflussfaktors eine standardisierte Ernährungsvorgabe geben müssen. Da das Ziel dieser Studie darin bestand praktische Empfehlungen für die Probandinnen zu geben, hätte eine standardisierte Ernährung nicht die Nahrungsaufnahme der Frauen im Alltag dargestellt und somit möglicherweise einen Einfluss auf den MZ der Teilnehmerinnen gehabt, da die Energieaufnahme während des Zyklus auf natürliche Weise variiert. Während der FP, insbesondere vor und um den Eisprung herum, werden weniger Kalorien aufgenommen als in der LP (Rogan & Black, 2023), sodass eine standardisierte Ernährung nicht dem tatsächlichen Bedarf in unterschiedlichen MZ-Phasen entsprechen würde. Große Ernährungsunterschiede scheint es außer bei einer Probandin nicht gegeben zu haben. Da die Phase der MLP bei ihr nur einmal verwendet werden kann, gibt es nicht die Möglichkeit auf die andere Testung zurückzugreifen und einen Mittelwert daraus zu bilden.

Ähnliches gilt für die Vorgabe keine intensiven Einheiten am Tag vor den Testungen zu absolvieren. Zusammenhängend mit der Notwendigkeit die MZ-Phasen exakt zu treffen, konnte nicht immer auf den Trainings- bzw. Wettkampfplan der Athletinnen (n = 3 der 126 Testungen) Rücksicht genommen werden. Darüber hinaus kann beispielsweise die hohe Belastung eines Marathons (n = 3) auch zwei oder mehr Tage danach eine Auswirkung haben, weil die Regenerationsfähigkeit von den hormonellen Einflüssen des MZ beeinflusst sein könnte (Isacco & Boisseau, 2017). Bei der Einordnung der Ergebnisse würden sowohl Aktivitäts- als auch Schlafparametern helfen. Eine strikte Vorgabe zu Trainingseinheiten und -intensitäten ist aufgrund der sportlichen Diversität in dieser Studie nicht möglich. Es würde zwar einerseits eine mögliche Einflussvariable eingrenzen, stellt aber wiederum nicht den Alltag der Sportlerinnen dar. Alle Probandinnen sind mindestens drei Mal pro Woche im Ausdauer- oder Teamsport aktiv und besitzen langjährige sportliche Erfahrung ( $12 \pm 5$  Jahre). Trotzdem gibt es sowohl im Stufentest als

auch in den submaximalen Testungen interindividuelle Unterschiede in den Laktatkonzentrationen bei festgelegten bzw. individuell errechneten Belastungsstufen, welche den variierenden Trainingshintergrund unterstreichen. Obgleich die Trainingshistorie eine weitere Variable darstellt, wird so die Bandbreite der untersuchten Sportlerinnen verdeutlicht.

Drei Probandinnen waren nicht in der Lage ihre Testungen während der EFP ohne Schmerzmittel zu absolvieren. Dysmenorrhoe tritt als häufigstes MZ-assoziiertes Symptom bei rund 32% der natürlich menstruierenden Frauen in Erscheinung (Taim et al., 2023), sodass Analgetika zur Schmerzlinderung dienen. Diese verbessern aber möglicherweise die Ausdauer- und neuromuskuläre Leistung (Lundberg & Howatson, 2018), sodass die Testungen eventuell verfälscht wurden. Grund dafür könnte eine erhöhte Schmerztoleranz und eine daraus resultierende geringere empfundene Anstrengung sein (Lundberg & Howatson, 2018). Tierdaten schwimmender Ratten (Lima et al., 2016) bestätigen eine Studie mit männlichen Radsportlern, da sich sowohl die Lauf- als auch die Radleistung durch die Einnahme von Paracetamol oder Ibuprofen verbessert hat (Mauger et al., 2010). Die Interventionen lassen vermuten, dass die trainingsinduzierte Ermüdung durch die Schmerzmittelgabe verringert werden könnte (Lima et al., 2016). Studien, welchen den Einfluss von Schmerzmitteln auf die sportliche Leistung bei Frauen untersuchen, fehlen bisher. Vorstellbar wäre innerhalb unserer Testungen besonders der Einfluss auf den RPE. Bei diesen submaximalen Testungen hat die Einnahme von Schmerzmitteln während der MP jedoch keine Auswirkungen auf die Leistung gezeigt. Neben dem möglichen Einfluss von MZ-Symptomen auf Leistungsparameter sollte das allgemeine Wohlbefinden (z.B. Schlaf, Erholung, Stimmung) von ForscherInnen und TrainerInnen nicht außer Acht gelassen werden (Bruinvels et al., 2022). Geeignete Strategien zur Symptomlinderung sind derzeit noch nicht ausreichend fundiert (Bruinvels et al., 2022). Der Versuch durch eine erhöhte Schlafdauer oder die Einnahme bestimmter Nahrungsergänzungsmittel im Vergleich zur langfristigen Einnahme nichtsteroidaler, entzündungshemmender Medikamente könnte einen risikofreien Versuch darstellen, negative MZ-Symptome zu lindern (Bruinvels et al., 2022). In dieser Studie haben zwei der betroffenen Probandinnen trotz der Schmerzmitteleinnahme höhere RPE-Werte (+ 1-3) angegeben, welche sich vor allem im IL unterschieden haben. Denkbar ist deshalb, dass MZ-Symptome in submaximalen Bereich stärker wahrgenommen werden und in maximalen Bereichen eine weniger ausschlaggebende Rolle spielen. Dies muss jedoch für eine größere Stichprobengröße bestätigt werden.

## 5 Fazit

Dank der Einhaltung des methodischen Goldstandards für Forschungsvorhaben im Bereich des MZ im Sport und der Durchführung von 125 Spiroergometrien an 23 Probandinnen konnten im Rahmen dieser Studie wichtige Erkenntnisse im Bereich submaximaler Ausdauerparameter bei menstruierenden Frauen gewonnen werden. Trotz des Ausbleibens statistisch signifikanter Unterschiede für alle untersuchten Parameter, weisen große Effektstärken auf den Einfluss der geringen Stichprobengröße ( $n = 10$ ) hin. Ein hoher Prozentsatz der Teilnehmerinnen musste aufgrund ihres MZ exkludiert werden. Während der Durchführung sorgten unphysiologische Zykluslängen ( $n = 5$ ) oder nachträglich die fehlende Detektion der Ovulation ( $n = 5$ ) und ein vermuteter Lutealphasendefekt ( $n = 1$ ) zum Ausschluss der Probandinnen. Unabdingbar ist deshalb die Umsetzung der methodischen Leitlinien zur Phasenverifikation. Zwingend notwendig sind jedoch auch Studien, die Frauen mit Zyklusstörungen inkludieren.

Sowohl auf subjektiver Wahrnehmung beruhende als auch rein objektive Parameter zeigen große Effektstärken: RER ( $\eta^2 = 0.141$ ), TEE (IL:  $\eta^2 = 0.171$ ), RPE (IL:  $\eta^2 = 0.195$ ; IH:  $\eta^2 = 0.251$ ), Hf (IL:  $\eta^2 = 0.168$ ), Laktatkonzentration am Ende ( $\eta^2 = 0.233$ ) und als  $\Delta$ -Laktat zwischen der Konzentration nach dem IH und neun Minuten nach Testende ( $\eta^2 = 0.147$ ). Auffällig ist das vermehrte Auftreten nennenswerter Effektgrößen im IL, welches den niedrigeren submaximalen Bereich der Ausdauerleistungsfähigkeit widerspiegelt.

Der zweite Grund für das Fehlen statistisch signifikanter Ergebnisse könnte in der Variation individueller Auswirkungen liegen, die einen klaren Trend aller Probandinnen ( $n = 10$ ) verhindern. Sowohl komplett ausbleibende Phasenveränderungen als auch Differenzen von bis zu 7% liegen innerhalb dieser Stichprobe ( $n = 10$ ) vor. Auf individueller Ebene erscheinen persönliche Reaktionsmuster auf der Basis von einem oder zwei Zyklen realistisch, müssen aber in weiteren Zyklen bestätigt werden. Weitaus häufiger wurde die schlechteste MZ-Phase im Gegensatz zur besten MZ-Phase eindeutig identifiziert, sodass die häufig negative Konnotation des MZ im Alltag dadurch zum Teil erklärt werden könnte.

In dieser Studie wird der notwendige Fokus auf individuelle Handlungsansätze fernab verallgemeinernder Aussagen bestätigt. Um auf persönlicher Basis herausfinden, ob die Trainingsplanung den MZ integrieren sollte, wird das Tracken des eigenen Zyklus empfohlen. Dies kann die Wahrnehmung des und das Verständnis für den eigenen Körper steigern, sodass das Training im Falle der individuellen Auswirkung durch den MZ in allen Zyklusphasen verträglicher ist.

## Literaturverzeichnis

- Achten, J., Gleeson, M., & Jeukendrup, A. E. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc*, 34(1), 92-97. <https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00015>
- Armour, M., Parry, K. A., Steel, K., & Smith, C. A. (2020). Australian female athlete perceptions of the challenges associated with training and competing when menstrual symptoms are present. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 15(3), 316-323. <https://doi.org/10.1177/1747954120916073>
- Ashley, C. D., Kramer, M. L., & Bishop, P. (2000). Estrogen and Substrate Metabolism. *Sports Medicine*, 29(4), 221-227. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029040-00001>
- Aucouturier, J., Baker, J. S., & Duché, P. (2008). Fat and Carbohydrate Metabolism during Submaximal Exercise in Children. *Sports Med*, 38, 213–238. <https://doi.org/https://doi.org/10.2165/00007256-200838030-00003>
- Baker, F. C., Sibozza, F., & Fuller, A. (2020). Temperature regulation in women: Effects of the menstrual cycle. *Temperature*, 7(3), 226-262. <https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1735927>
- Balash, J., & Vanrell, J. A. (1987). Corpus luteum insufficiency and fertility: a matter of controversy. *Hum Reprod*, 2(7), 557-567. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.humrep.a136589>
- Bambaeichi, E., Reilly, T., Cable, N. T., & Giacomoni, M. (2004). The isolated and combined effects of menstrual cycle phase and time-of-day on muscle strength of eumenorrhic females. *Chronobiology international*, 21(4-5), 645–660.
- Baranauskas, M. N., Freemans, J. A., Carter, S. J., Blodgett, J. M., Pedlar, C. R., & Bruinvels, G. (2023). Amenorrhea and oligomenorrhea risk related to exercise training volume and intensity: Findings from 3705 participants recruited via the STRAVA™ exercise application. *J Sci Med Sport*, 26(8), 405-409. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.07.001>
- Barron, M. L., & Fehring, R. J. (2005). Basal body temperature assessment: is it useful to couples seeking pregnancy? *MCN Am J Matern Child Nurs*, 30(5), 290-296; quiz 297-298. <https://doi.org/10.1097/00005721-200509000-00004>
- Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1985). Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J Appl Physiol (1985)*, 59(6), 1936-1940. <https://doi.org/10.1152/jappl.1985.59.6.1936>
- Beger, R. D., Dunn, W., Schmidt, M. A., Gross, S. S., Kirwan, J. A., Cascante, M., Brennan, L., Wishart, D. S., Oresic, M., & Hankemeier, T. (2016). Metabolomics enables precision medicine: “a white paper, community perspective”. *Metabolomics*, 12, 1-15.
- Berend, J. Z., Brammeier, M. R., Jones, N. A., Holliman, S. C., & Hackney, A. C. (1994). EFFECT OF THE MENSTRUAL CYCLE PHASE AND DIET ON BLOOD LACTATE RESPONSES TO EXERCISE. *Biol Sport*, 11(4), 241-248.
- Bernstein, C., & Behringer, M. (2023). Mechanisms Underlying Menstrual Cycle Effects on Exercise Performance: A Scoping Review. *Women in Sport and Physical Activity Journal*, 31. <https://doi.org/10.1123/wspaj.2022-0026>

- Birch, K., & Reilly, T. (2002). THE DIURNAL RHYTHM IN ISOMETRIC MUSCULAR PERFORMANCE DIFFERS WITH EUMENORRHEIC MENSTRUAL CYCLE PHASE. *Chronobiology international*, 19(4), 731-742. <https://doi.org/10.1081/CBI-120006083>
- Blaak, E. (2001). Gender differences in fat metabolism. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 4(6), 499-502. <https://doi.org/10.1097/00075197-200111000-00006>
- Blagrove, R. C., Bruinvels, G., & Pedlar, C. R. (2020). Variations in strength-related measures during the menstrual cycle in eumenorrhic women: A systematic review and meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 23, 1220–1227 <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.04.022>
- Bloch, W. (2013). Endurance Training and the Menstrual Cycle Effects of menstrual cycle based-training on physiologic measures of endurance capacity and on muscle cell parameters in women with and without oral contraception.
- Boisseau, N., & Isacco, L. (2022). Substrate metabolism during exercise: Sexual dimorphism and women's specificities. *European Journal of Sport Science*, 22(5), 672–683.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14(5), 377-381.
- Brooks, G. A., & Mercier, J. (1994a). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *J Appl Physiol* (1985), 76(6), 2253-2261. <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.6.2253>
- Brooks, G. A., & Mercier, J. (1994b). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *Journal of applied physiology*, 76(6), 2253–2261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.6.2253>
- Brosel, J., J., M., & Schmitt, L. (2021, 24.03.2021). *Sportlerinnen fordern in SWR-Umfrage: Periode im Trainingsplan berücksichtigen. SWR-Umfrage unter Spitzensportlerinnen*. Retrieved 26.01 from <https://www.swr.de/sport/frauen-im-sport/hat-die-periode-einen-einfluss-auf-die-sportlichkeit-100.html>
- Brouwer, E. (1957). On simple formulae for calculating the heat expenditure and the quantities of carbohydrate and fat oxidized in metabolism of men and animals, from gaseous exchange (Oxygen intake and carbonic acid output) and urine-N. *Acta Physiol Pharmacol Neerl*, 6, 795-802.
- Brown, N., Knight, C. J., & Forrest, L. J. (2021). Elite female athletes' experiences and perceptions of the menstrual cycle on training and sport performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(1), 52-69. <https://doi.org/10.1111/sms.13818>
- Bruinvels, G., Burden, R., Brown, N., Richards, T., & Pedlar, C. (2016). The Prevalence and Impact of Heavy Menstrual Bleeding (Menorrhagia) in Elite and Non-Elite Athletes. *PLOS ONE*, 11(2), e0149881. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149881>
- Bruinvels, G., Burden, R. J., McGregor, A. J., Ackerman, K. E., Dooley, M., Richards, T., & Pedlar, C. (2017). Sport, exercise and the menstrual cycle: where is the research? *British Journal of Sports Medicine*, 51(6), 487-488. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096279>
- Bruinvels, G., Hackney, A. C., & Pedlar, C. R. (2022). Menstrual Cycle: The Importance of Both the Phases and the Transitions Between Phases on Training and Performance. *Sports Medicine*, 52(7), 1457-1460. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01691-2>

- Buchheit, M., Simpson, B. M., & Lacombe, M. (2020). Monitoring Cardiorespiratory Fitness in Professional Soccer Players: Is It Worth the Prick? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(10), 1437-1441. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0911>
- Bui, H. N., Sluss, P. M., Blincko, S., Knol, D. L., Blankenstein, M. A., & Heijboer, A. C. (2013). Dynamics of serum testosterone during the menstrual cycle evaluated by daily measurements with an ID-LC-MS/MS method and a 2nd generation automated immunoassay. *Steroids*, 78(1), 96-101. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2012.10.010>
- Bunt, J. C. (1990). Metabolic actions of estradiol: significance for acute and chronic exercise responses. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(3), 286-290. [https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/1990/06000/metabolic\\_actions\\_of\\_estradiol\\_significance\\_for.3.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/1990/06000/metabolic_actions_of_estradiol_significance_for.3.aspx)
- Burden, R. J., Altini, M., Ferrer, E., Flood, T. R., Lewin, G., Nimphius, S., Phillips, S. M., & Elliott-Sale, K. J. (2024). Measure do not guess: a call to action to end assumed and estimated menstrual cycle phases in research. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 10(2), e002095. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2024-002095>
- Campbell, & Febbraio. (2001a). Effect of ovarian hormones on mitochondrial enzyme activity in the fat oxidation pathway of skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 281(4), E803-808. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2001.281.4.E803>
- Campbell, & Febbraio. (2001b). Effects of ovarian hormones on exercise metabolism. Current opinion in clinical nutrition and metabolic care. 4(6), 515–520 <https://doi.org/https://doi.org/10.1097/00075197-200111000-00009>
- Campbell, S., Mehan, K., Tunstall, R., Febbraio, M., & Cameron-Smith, D. (2003). 17beta-estradiol upregulates the expression of peroxisome proliferator-activated receptor alpha and lipid oxidative genes in skeletal muscle. *Journal of Molecular Endocrinology*, 31(1), 37-45. <https://doi.org/10.1677/jme.0.0310037>
- Carmichael, M. A., Thomson, R. L., Moran, L. J., & Wycherley, T. P. (2021). The Impact of Menstrual Cycle Phase on Athletes' Performance: A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1667. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041667>
- Carter, S. L., Rennie, C., & Tarnopolsky, M. A. (2001). Substrate utilization during endurance exercise in men and women after endurance training. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 280(6), E898-907. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2001.280.6.E898>
- Chappell, S., & Hackney, A. C. (1997). Associations between menstrual cycle phase, physical activity level and dietary macro-nutrient intake. *Biol Sport*, 14(4), 251-258.
- Cohen, J. (2013). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Cole, L. A., Ladner, D. G., & Byrn, F. W. (2009). The normal variabilities of the menstrual cycle. *Fertility and Sterility*, 91(2), 522-527. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2007.11.073>
- Colombo, B., & Masarotto, G. (2000). Daily fecundability: first results from a new data base. *Demogr Res*, 3, [39] p.
- Commission, E. (2019). *Gender equality in sport: proposal for strategic actions 2014–2020*. Retrieved 26.01 from

[https://ec.europa.eu/assets/eac/sport/events/2013/documents/20131203-gender/final-proposal-1802\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/assets/eac/sport/events/2013/documents/20131203-gender/final-proposal-1802_en.pdf)

- Cook, D. M. (2004). Growth hormone and estrogen: a clinician's approach. *J Pediatr Endocrinol Metab*, 17 Suppl 4, 1273-1276.
- Costello, J. (2014). Where are all the female participants in Sports and Exercise Medicine research? *European Journal of Sport Science*.
- D'Eon, T. M., Sharoff, C., Chipkin, S. R., Grow, D., Ruby, B. C., & Braun, B. (2002). Regulation of exercise carbohydrate metabolism by estrogen and progesterone in women. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 283(5), E1046-1055. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00271.2002>
- D'Eon, T. M., Souza, S. C., Aronovitz, M., Obin, M. S., Fried, S. K., & Greenberg, A. S. (2005). Estrogen Regulation of Adiposity and Fuel Partitioning. *Journal of Biological Chemistry*, 280(43), 35983-35991. <https://doi.org/10.1074/jbc.m507339200>
- Davis, H. C., & Hackney, A. C. (2017). The Hypothalamic–Pituitary–Ovarian Axis and Oral Contraceptives: Regulation and Function. In A. C. Hackney (Ed.), *Sex Hormones, Exercise and Women: Scientific and Clinical Aspects* (pp. 1-17). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44558-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44558-8_1)
- de Lannoy, L., Sui, X., Lavie, C. J., Blair, S. N., & Ross, R. (2018). Change in Submaximal Cardiorespiratory Fitness and All-Cause Mortality. *Mayo Clin Proc*, 93(2), 184-190. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2017.11.020>
- de Mouzon, J., Testart, J., Lefevre, B., Pouly, J. L., & Frydman, R. (1984). Time relationships between basal body temperature and ovulation or plasma progestins. *Fertil Steril*, 41(2), 254-259. [https://doi.org/10.1016/s0015-0282\(16\)47600-4](https://doi.org/10.1016/s0015-0282(16)47600-4)
- De Souza, M. J., Maguire, M. S., Rubin, K. R., & Maresh, C. M. (1990). Effects of menstrual phase and amenorrhea on exercise performance in runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 22(5), 575-580. <https://doi.org/10.1249/00005768-199010000-00006>
- De Souza, M. J., Miller, B. E., Loucks, A. B., Luciano, A. A., Pescatello, L. S., Campbell, C. G., & Lasley, B. L. (1998). High frequency of luteal phase deficiency and anovulation in recreational women runners: blunted elevation in follicle-stimulating hormone observed during luteal-follicular transition. *J Clin Endocrinol Metab*, 83(12), 4220-4232. <https://doi.org/10.1210/jcem.83.12.5334>
- De Souza, M. J., Toombs, R. J., Scheid, J. L., O'Donnell, E., West, S. L., & Williams, N. I. (2010). High prevalence of subtle and severe menstrual disturbances in exercising women: confirmation using daily hormone measures. *Human Reproduction*, 25(2), 491-503. <https://doi.org/10.1093/humrep/dep411>
- Dean, T. M., Perreault, L., Mazzeo, R. S., & Horton, T. J. (2003). No effect of menstrual cycle phase on lactate threshold. *J Appl Physiol* (1985), 95(6), 2537-2543. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00672.2003>
- Decroix, L., De Pauw, K., Foster, C., & Meeusen, R. (2016). Guidelines to Classify Female Subject Groups in Sport-Science Research. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(2), 204-213. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0153>
- Delp, M., Chesbro, G. A., Pribble, B. A., Miller, R. M., Pereira, H. M., Black, C. D., & Larson, R. D. (2023). Higher rating of perceived exertion and lower perceived recovery following a graded exercise test during menses compared to non-bleeding days in untrained females. *Front Physiol*, 14, 1297242. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1297242>

- Delp, M., Chesbro, G. A., Pribble, B. A., Miller, R. M., Pereira, H. M., Black, C. D., & Larson, R. D. (2024). Higher rating of perceived exertion and lower perceived recovery following a graded exercise test during menses compared to non-bleeding days in untrained females [Original Research]. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1297242>
- Devries, M. C., Hamadeh, M. J., Phillips, S. M., & Tarnopolsky, M. A. (2006). Menstrual cycle phase and sex influence muscle glycogen utilization and glucose turnover during moderate-intensity endurance exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 291(4), R1120-1128. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00700.2005>
- Dokumacı, B., & Hazır, T. (2019). Effects of the Menstrual Cycle on Running Economy: Oxygen Cost Versus Caloric Cost. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 90(3), 318-326. <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1599800>
- Driver, H. S., Werth, E., Dijk, D.-J., & Borbély, A. A. (2008). The Menstrual Cycle Effects on Sleep. *Sleep Medicine Clinics*, 3(1), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2007.10.003>
- Eisenlohr-Moul, T. A. (2021). Commentary on Joyce *et al*.: Studying menstrual cycle effects on behavior requires within-person designs and attention to individual differences in hormone sensitivity. *Addiction*, 116(10), 2759-2760. <https://doi.org/10.1111/add.15576>
- Ekberg, S., Morseth, B., Larsén, K. B., & Wikström-Frisén, L. (2023). Does the Menstrual Cycle Influence Aerobic Capacity in Endurance-Trained Women? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1-8. <https://doi.org/10.1080/02701367.2023.2291473>
- Elliott-Sale, K., Ross, E., Burden, R., & Hicks, K. (2020). The BASES Expert Statement on Conducting and Implementing Female Athlete Based Research. *Sport Exerc. Sci.*, 65, 6-7.
- Emmonds, S., Heyward, O., & Jones, B. (2019). The Challenge of Applying and Undertaking Research in Female Sport. *Sports Medicine - Open*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0224-x>
- Facioli, T. P., Philbois, S. V., Gastaldi, A. C., Almeida, D. S., Maida, K. D., Rodrigues, J. A. L., Sánchez-Delgado, J. C., & Souza, H. C. D. (2021). Study of heart rate recovery and cardiovascular autonomic modulation in healthy participants after submaximal exercise. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83071-w>
- Ferin, M. (1996). *The menstrual cycle: an integrative view*. Adashi EY, Rock JA, Rosenwaks Z, editors. Reproductive endocrinology, surgery, and technology, vol. 1.
- Forsyth, J. J., & Reilly, T. (2005). The Combined Effect of Time of Day and Menstrual Cycle on Lactate Threshold. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(12), 2046-2053. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000179094.47765.d0>
- Forsyth, J. J., & Reilly, T. (2008). The effect of menstrual cycle on 2000-m rowing ergometry performance. *European Journal of Sport Science*, 8(6), 351-357. <https://doi.org/10.1080/17461390802308644>
- Frankovich, R. J., & Lebrun, C. M. (2000). MENSTRUAL CYCLE, CONTRACEPTION, AND PERFORMANCE. *Clinics in Sports Medicine*, 19(2), 251-271. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(05\)70202-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0278-5919(05)70202-7)

- Freemas, J. A., Baranauskas, M. N., Constantini, K., Constantini, N., Greenshiels, J. T., Mickleborough, T. D., Raglin, J. S., & Schlader, Z. J. (2021). Exercise Performance Is Impaired during the Midluteal Phase of the Menstrual Cycle. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(2), 442-452. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002464>
- Friedlander, A. L., Casazza, G. A., Horning, M. A., Huie, M. J., Piacentini, M. F., Trimmer, J. K., & Brooks, G. A. (1998). Training-induced alterations of carbohydrate metabolism in women: women respond differently from men. *J Appl Physiol* (1985), 85(3), 1175-1186. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.3.1175>
- Fritz, M. A., & Speroff, L. (1983). Amenorrhea. In: Clinical gynecologic endocrinology and infertility.
- Fu, M. H., Maher, A. C., Hamadeh, M. J., Ye, C., & Tarnopolsky, M. A. (2009). Exercise, sex, menstrual cycle phase, and 17beta-estradiol influence metabolism-related genes in human skeletal muscle. *Physiol Genomics*, 40(1), 34-47. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00115.2009>
- Goldsmith, E., & Glaister, M. (2020). The effect of the menstrual cycle on running economy. *J Sports Med Phys Fitness*, 60(4), 610-617. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.20.10229-9>
- Gordon, C. M., Ackerman, K. E., Berga, S. L., Kaplan, J. R., Mastorakos, G., Misra, M., Murad, M. H., Santoro, N. F., & Warren, M. P. (2017). Functional Hypothalamic Amenorrhea: An Endocrine Society Clinical Practice Guideline. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 102(5), 1413-1439. <https://doi.org/10.1210/jc.2017-00131>
- Gordon, D., Hughes, F., Young, K., Scruton, A., Keiller, D., & Caddy, O. e. a. (2013). The effects of menstrual cycle phase on the development of peak torque under isokinetic conditions. *Isokinetics and exercise science*, 21 (4). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3233/IES-130499>
- Green, J. M., McLester, J. R., Crews, T. R., Wickwire, P. J., Pritchett, R. C., & Lomax, R. G. (2006). RPE association with lactate and heart rate during high-intensity interval cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 38(1), 167-172. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000180359.98241.a2>
- Guest, N. S., Vandusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N. D. M., Arent, S. M., Antonio, J., Stout, J. R., Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Goldstein, E. R., Kalman, D. S., & Campbell, B. I. (2021). International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00383-4>
- Gupte, A. A., Pownall, H. J., & Hamilton, D. J. (2015). Estrogen: an emerging regulator of insulin action and mitochondrial function. *J Diabetes Res*, 2015, 916585. <https://doi.org/10.1155/2015/916585>
- Hacker, N. F., Gambone, J. C., & Hobel, C. J. (2015). *Hacker & Moore's Essentials of Obstetrics and Gynecology* (6th ed.). Elsevier.
- Hackney. (1990). Effects of the menstrual cycle on resting muscle glycogen content. *Horm Metab Res*, 22(12), 647. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1004994>
- Hackney, A. C. (1999). Influence of oestrogen on muscle glycogen utilization during exercise. *Acta Physiol Scand*, 167(3), 273-274. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.1999.00605.x>

- Hackney, A. C. (2021). Menstrual Cycle Hormonal Changes and Energy Substrate Metabolism in Exercising Women: A Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 10024. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910024>
- Hackney, A. C., McCracken-Compton, M. A., & Ainsworth, B. (1994). Substrate responses to submaximal exercise in the midfollicular and midluteal phases of the menstrual cycle. *Int J Sport Nutr*, 4(3), 299-308. <https://doi.org/10.1123/ijsn.4.3.299>
- Hackney, A. C., Muoio, D., & Meyer, W. R. (2000). The Effect of Sex Steroid Hormones on Substrate Oxidation during Prolonged Submaximal Exercise in Women. *The Japanese Journal of Physiology*, 50(5), 489-494. <https://doi.org/10.2170/jjphysiol.50.489>
- Hägström, M. (2014). Reference ranges for estradiol, progesterone, luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone during the menstrual cycle. . *Wikiversity Journal of Medicine*. <https://doi.org/> <http://dx.doi.org/10.15347/wjm/2014.001>
- Hashimoto, H., Ishijima, T., Hayashida, H., Suzuki, K., & Higuchi, M. (2014). Menstrual cycle phase and carbohydrate ingestion alter immune response following endurance exercise and high intensity time trial performance test under hot conditions. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1), 39. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-11-39>
- Hill, D. W., & Vingren, J. L. (2014). Effects of exercise mode and participant sex on measures of anaerobic capacity. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 54(3), 255-263. <http://europepmc.org/abstract/MED/24739287>
- Hopker, J., Passfield, L., Coleman, D., Jobson, S., Edwards, L., & Carter, H. (2009). The Effects of Training on Gross Efficiency in Cycling: A Review. *International Journal of Sports Medicine*, 30(12), 845-850. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1237712>
- Horton, T. J., Miller, E. K., Glueck, D., & Tench, K. (2002). No effect of menstrual cycle phase on glucose kinetics and fuel oxidation during moderate-intensity exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 282(4), E752-E762. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00238.2001>
- Horton, T. J., Pagliassotti, M. J., Hobbs, K., & Hill, J. O. (1998). Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 85(5), 1823-1832. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.5.1823>
- Infertility, P. C. o. t. A. S. f. R. M. a. t. S. f. R. E. a. (2021). Diagnosis and treatment of luteal phase deficiency: a committee opinion. *Fertil Steril*, 115(6), 1416-1423. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2021.02.010>
- IOC, I. O. C. (2021). *Gender equality & inclusion report 2021*. Retrieved 26.01 from <https://stillmed.olympics.com/media/Documents/Beyond-the-Games/Gender-Equality-in-Sport/2021-IOC-Gender-Equality-Inclusion-Report.pdf>
- Isacco, L., & Boisseau, N. (2017). Sex Hormones and Substrate Metabolism During Endurance Exercise. In A. C. Hackney (Ed.), *Sex Hormones, Exercise and Women: Scientific and Clinical Aspects* (pp. 35-58). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44558-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44558-8_3)
- Isacco, L., Duché, P., & Boisseau, N. (2012). Influence of Hormonal Status on Substrate Utilization at Rest and during Exercise in the Female Population. *Sports Medicine*, 42(4), 327-342. <https://doi.org/10.2165/11598900-000000000-00000>

- Janse, D. E. J. X. A., Thompson, B., & Han, A. (2019). Methodological Recommendations for Menstrual Cycle Research in Sports and Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(12), 2610-2617. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002073>
- Janse, D. E. J. X. A., Thompson, M. W., Chuter, V. H., Silk, L. N., & Thom, J. M. (2012). Exercise performance over the menstrual cycle in temperate and hot, humid conditions. *Med Sci Sports Exerc*, 44(11), 2190-2198. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182656f13>
- Jeukendrup, A., Saris, W., & Wagenmakers, A. (1998a). Fat Metabolism During Exercise: A Review - Part II: Regulation of Metabolism and the Effects of Training. *International Journal of Sports Medicine*, 19(05), 293-302. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971921>
- Jeukendrup, A., Saris, W., & Wagenmakers, A. (1998b). Fat Metabolism During Exercise: A Review. Part I: Fatty Acid Mobilization and Muscle Metabolism. *International Journal of Sports Medicine*, 19(04), 231-244. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971911>
- Jeukendrup, A., Saris, W. H. M., Brouns, F., & Kester, A. D. M. (1996). A new validated endurance performance test. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(2), 266-270. [https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/1996/02000/a\\_new\\_validated\\_endurance\\_performance\\_test.17.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/1996/02000/a_new_validated_endurance_performance_test.17.aspx)
- Jeukendrup, A. E. (2003). Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment. *Biochemical Society transactions*, 31, 1270–1273.
- Joyce, K. M., Good, K. P., Tibbo, P., Brown, J., & Stewart, S. H. (2021). Addictive behaviors across the menstrual cycle: a systematic review. *Archives of Women's Mental Health*, 24(4), 529-542. <https://doi.org/10.1007/s00737-020-01094-0>
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35-44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- Julian, R., Hecksteden, A., Fullagar, H. H. K., & Meyer, T. (2017). The effects of menstrual cycle phase on physical performance in female soccer players. *PLOS ONE*, 12(3), e0173951. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173951>
- Julian, R., & Sargent, D. (2020). Periodisation: tailoring training based on the menstrual cycle may work in theory but can they be used in practice? *Science and Medicine in Football*, 4(4), 253-254. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1828615>
- Julian, R., Skorski, S., Hecksteden, A., Pfeifer, C., Bradley, P. S., Schulze, E., & Meyer, T. (2021). Menstrual cycle phase and elite female soccer match-play: influence on various physical performance outputs. *Science and Medicine in Football*, 5(2), 97-104. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1802057>
- Jürimäe, J., Vaiksaar, S., Purge, P., & Jürimäe, T. (2016). Adiponectin and osteocalcin responses to rowing exercise, and the relationship to substrate oxidation in female rowers. *Acta Physiologica Hungarica*, 103(2), 220-230. <https://doi.org/10.1556/036.103.2016.2.9>
- Jurkowski, J. E., Jones, N. L., Toews, C. J., & Sutton, J. R. (1981). Effects of menstrual cycle on blood lactate, O<sub>2</sub> delivery, and performance during exercise. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 51(6), 1493–1499. <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/jappl.1981.51.6.1493>
- Karacan, S., Çolakoğlu, F. F., & Ersöz, G. (2013). MENSTRUAL STATUS DIFFERENCES OF ELITE TURKISH FEMALE ATHLETES FROM VARIOUS TEAM SPORTS.

- Kelly, R. S., Kelly, M. P., & Kelly, P. (2020). Metabolomics, physical activity, exercise and health: A review of the current evidence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*, 1866(12), 165936. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2020.165936>
- Kiens, B., Roepstorff, C., Glatz, J. F., Bonen, A., Schjerling, P., Knudsen, J., & Nielsen, J. N. (2004). Lipid-binding proteins and lipoprotein lipase activity in human skeletal muscle: influence of physical activity and gender. *J Appl Physiol* (1985), 97(4), 1209-1218. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01278.2003>
- Kindermann, W. (2004). Anaerobe Schwelle. *Dtsch Z Sportmed.* , 55, 161- 162.
- Knowles, O. E., Aisbett, B., Main, L. C., Drinkwater, E. J., Orellana, L., & Lamon, S. (2019). Resistance Training and Skeletal Muscle Protein Metabolism in Eumenorrhic Females: Implications for Researchers and Practitioners. *Sports Medicine*, 49(11), 1637-1650. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01132-7>
- Lam, Y. Y., & Ravussin, E. (2017). Indirect calorimetry: an indispensable tool to understand and predict obesity. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71(3), 318-322. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.220>
- Lang, F. (2009). *Ausschüttung weiblicher Sexualhormone*. (Vol. 6. Auflage). <https://doi.org/10.1055/b-007-16890>
- Lariviere, F., Moussalli, R., & Garrel, D. R. (1994). Increased leucine flux and leucine oxidation during the luteal phase of the menstrual cycle in women. *Am J Physiol*, 267(3 Pt 1), E422-428. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1994.267.3.E422>
- Lei, T. H., Stannard, S. R., Perry, B. G., Schlader, Z. J., Cotter, J. D., & Mündel, T. (2017). Influence of menstrual phase and arid <i>vs</i>. humid heat stress on autonomic and behavioural thermoregulation during exercise in trained but unacclimated women. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2823-2837. <https://doi.org/10.1113/jp273176>
- Lima, F. D., Stamm, D. N., Della Pace, I. D., Ribeiro, L. R., Rambo, L. M., Bresciani, G., Ferreira, J., Rossato, M. F., Silva, M. A., Pereira, M. E., Ineu, R. P., Santos, A. R., Bobinski, F., Figuera, M. R., & Royes, L. F. (2016). Ibuprofen intake increases exercise time to exhaustion: A possible role for preventing exercise-induced fatigue. *Scand J Med Sci Sports*, 26(10), 1160-1170. <https://doi.org/10.1111/sms.12549>
- Löllgen, H., & Leyk, D. (2018). Exercise Testing in Sports Medicine. *Deutsches Arzteblatt international*, 115(24), 409–416. <https://doi.org/https://doi.org/10.3238/arztebl.2018.0409>
- Loucks, A. B. (2003a). Energy availability, not body fatness, regulates reproductive function in women. *Exerc Sport Sci Rev*, 31(3), 144-148. <https://doi.org/10.1097/00003677-200307000-00008>
- Loucks, A. B. (2003b). Introduction to menstrual disturbances in athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 35(9), 1551-1552. <https://doi.org/10.1249/01.Mss.0000084531.33556.7b>
- Lundberg, T. R., & Howatson, G. (2018). Analgesic and anti-inflammatory drugs in sports: Implications for exercise performance and training adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(11), 2252-2262. <https://doi.org/10.1111/sms.13275>
- Macintosh, B. R., Murias, J. M., Keir, D. A., & Weir, J. M. (2021). What Is Moderate to Vigorous Exercise Intensity? *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.682233>

- Magyar, D. M., Boyers, S. P., Marshall, J. R., & Abraham, G. E. (1979). Regular menstrual cycles and premenstrual molimina as indicators of ovulation. *Obstet Gynecol*, 53(4), 411-414.
- Maher, Akhtar, Vockley, J., & Tarnopolsky, M. A. (2010). Women have higher protein content of beta-oxidation enzymes in skeletal muscle than men. *PLOS ONE*, 5(8), e12025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012025>
- Maher, Akhtar, Vockley, & Tarnopolsky. (2010). Women Have Higher Protein Content of  $\beta$ -Oxidation Enzymes in Skeletal Muscle than Men. *PLOS ONE*, 5(8), e12025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012025>
- Marcinkowska, U. M. (2020). Importance of Daily Sex Hormone Measurements Within the Menstrual Cycle for Fertility Estimates in Cyclical Shifts Studies. *Evolutionary Psychology*, 18(1), 147470491989791. <https://doi.org/10.1177/1474704919897913>
- Marshall, J. (1963). Thermal Changes in the Normal Menstrual Cycle. *BMJ*, 1(5323), 102-104. <https://doi.org/10.1136/bmj.1.5323.102>
- Martin, D., Sale, C., Cooper, S. B., & Elliott-Sale, K. J. (2018). Period Prevalence and Perceived Side Effects of Hormonal Contraceptive Use and the Menstrual Cycle in Elite Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(7), 926-932. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0330>
- Mattu, A. T., Iannetta, D., MacInnis, M. J., Doyle-Baker, P. K., & Murias, J. M. (2020). Menstrual and oral contraceptive cycle phases do not affect submaximal and maximal exercise responses. *Scand J Med Sci Sports*, 30(3), 472-484. <https://doi.org/10.1111/sms.13590>
- Mauger, A. R., Jones, A. M., & Williams, C. A. (2010). Influence of acetaminophen on performance during time trial cycling. *J Appl Physiol* (1985), 108(1), 98-104. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00761.2009>
- Maunder, E., Plews, D. J., & Kilding, A. E. (2018). Contextualising Maximal Fat Oxidation During Exercise: Determinants and Normative Values. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00599>
- McCracken, M., Ainsworth, B., & Hackney, A. C. (1994). Effects of the menstrual cycle phase on the blood lactate responses to exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 69(2), 174-175. <https://doi.org/10.1007/BF00609412>
- McGawley, K., Sargent, D., Noordhof, D., Badenhorst, C. E., Julian, R., & Govus, A. D. (2023). Improving menstrual health literacy in sport. *Journal of science and medicine in sport*, 26(7), 351-357. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.06.007>
- McNulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ansdell, P., Goodall, S., Thomas, K., & Hicks, K. M. (2020). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrheic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 50(10), 1813-1827. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3>
- Meignié, A., Duclos, M., Carling, C., Orhant, E., Provost, P., Toussaint, J.-F., & Antero, J. (2021). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Elite Athlete Performance: A Critical and Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654585>
- Melmed, S. K., R.; Rosen, C.; Auchus, R.; Goldfine, A. (2019). *William's Textbook of Endocrinology*, .

- Mittendorfer, B., Horowitz, J. F., & Klein, S. (2002). Effect of gender on lipid kinetics during endurance exercise of moderate intensity in untrained subjects. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 283(1), E58-65. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00504.2001>
- Morishita, H., Hashimoto, T., Mitani, H., Tanaka, T., Higuchi, K., & Ozasa, T. (1979). Cervical mucus and prediction of the time of ovulation. *Gynecol Obstet Invest*, 10(4), 157-162. <https://doi.org/10.1159/000299936>
- Morrison, A. E., Fleming, S., & Levy, M. J. (2021). A review of the pathophysiology of functional hypothalamic amenorrhoea in women subject to psychological stress, disordered eating, excessive exercise or a combination of these factors. *Clin Endocrinol (Oxf)*, 95(2), 229-238. <https://doi.org/10.1111/cen.14399>
- Mumford, S. L., Schisterman, E. F., Siega-Riz, A. M., Gaskins, A. J., Steiner, A. Z., Daniels, J. L., Olshan, A. F., Hediger, M. L., Hovey, K., Wactawski-Wende, J., Trevisan, M., & Bloom, M. S. (2011). Cholesterol, endocrine and metabolic disturbances in sporadic anovulatory women with regular menstruation. *Human Reproduction*, 26(2), 423-430. <https://doi.org/10.1093/humrep/deq322>
- Najmabadi, S., Schliep, K. C., Simonsen, S. E., Porucznik, C. A., Egger, M. J., & Stanford, J. B. (2020). Menstrual bleeding, cycle length, and follicular and luteal phase lengths in women without known subfertility: A pooled analysis of three cohorts. *Paediatr Perinat Epidemiol*, 34(3), 318-327. <https://doi.org/10.1111/ppe.12644>
- Newell-Fugate, A. E. (2017). The role of sex steroids in white adipose tissue adipocyte function. *Reproduction*, 153(4), R133-R149. <https://doi.org/10.1530/rep-16-0417>
- Nicklas, B. J., Hackney, A. C., & Sharp, R. L. (1989). The menstrual cycle and exercise: performance, muscle glycogen, and substrate responses. *Int J Sports Med*, 10(4), 264-269. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024913>
- Oester, C., Norris, D., Scott, D., Pedlar, C., Bruinvels, G., & Lovell, R. (2024). Inconsistencies in the perceived impact of the menstrual cycle on sport performance and in the prevalence of menstrual cycle symptoms: A scoping review of the literature. *J Sci Med Sport*, 27(6), 373-384. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2024.02.012>
- Oosthuysen, T., & Bosch, A. N. (2010). The Effect of the Menstrual Cycle on Exercise Metabolism. *Sports Medicine*, 40(3), 207-227. <https://doi.org/10.2165/11317090-000000000-00000>
- Oosthuysen, T., Bosch, A. N., & Jackson, S. (2005). Cycling time trial performance during different phases of the menstrual cycle. *European Journal of Applied Physiology*, 94(3), 268-276. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1324-5>
- Oosthuysen, T., Strauss, J. A., & Hackney, A. C. (2022). Understanding the female athlete: molecular mechanisms underpinning menstrual phase differences in exercise metabolism. *European Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-05090-3>
- Oxfeldt, M., Frederiksen, L. K., Gunnarson, T., & Hansen, M. (2024). Influence of menstrual cycle phase and oral contraceptive phase on exercise performance in endurance-trained females. *J Sports Med Phys Fitness*, 64(3), 236-247. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.23.15458-2>
- Passfield, L., & Doust, J. H. (2000). Changes in cycling efficiency and performance after endurance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 32(11), 1935-1941. <https://doi.org/10.1097/00005768-200011000-00018>

- Péronnet, F., & Massicotte, D. (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can J Sport Sci*, 16(1), 23-29.
- Pitchers, G., & Elliott-Sale, K. (2019). *Considerations for Coaches Training Female Athletes*. Retrieved 26.01 from <https://www.uksga.org.uk/uksga-iq/article/planning-and-programming-periodisation/1948/considerations-for-coaches-training-female-athletes>
- Potter, J., Bouyer, J., Trussell, J., & Moreau, C. (2009). Premenstrual Syndrome Prevalence and Fluctuation over Time: Results from a French Population-Based Survey. *Journal of Women's Health*, 18(1), 31-39. <https://doi.org/10.1089/jwh.2008.0932>
- Purdom, T., Kravitz, L., Dokladny, K., & Mermier, C. (2018). Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0207-1>
- Recacha-Ponce, P., Collado-Boira, E., Suarez-Alcazar, P., Montesinos-Ruiz, M., & Hernando-Domingo, C. (2023). Is It Necessary to Adapt Training According to the Menstrual Cycle? Influence of Contraception and Physical Fitness Variables. *Life*, 13(8), 1764. <https://doi.org/10.3390/life13081764>
- Redman, L. M., Scroop, G. C., & Norman, R. J. (2003). Impact of menstrual cycle phase on the exercise status of young, sedentary women. *European Journal of Applied Physiology*, 90(5-6), 505-513. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0889-0>
- Redman, L. M., & Weatherby, R. P. (2004). Measuring Performance during the Menstrual Cycle: A Model Using Oral Contraceptives. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(1), 130-136. <https://doi.org/10.1249/01.Mss.0000106181.52102.99>
- Reed, B. G., & Carr, B. R. (2015). The Normal Menstrual Cycle and the Control of Ovulation.
- Rees, M. (1995). The age of menarche. *Orgyn*(4), 2-4.
- Roepstorff, C., Steffensen, C. H., Madsen, M., Stallknecht, B., Kanstrup, I. L., Richter, E. A., & Kiens, B. (2002). Gender differences in substrate utilization during submaximal exercise in endurance-trained subjects. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 282(2), E435-447. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00266.2001>
- Rogan, M. M., & Black, K. E. (2023). Dietary energy intake across the menstrual cycle: a narrative review. *Nutrition Reviews*, 81(7), 869-886. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuac094>
- Romero-Parra, N., Cupeiro, R., Alfaro-Magallanes, V. M., Rael, B., Rubio-Arias, J. Á., Peinado, A. B., Benito, P. J., & Group, o. b. o. t. I. S. (2021). Exercise-Induced Muscle Damage During the Menstrual Cycle: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(2), 549-561. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003878>
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., & Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol*, 265(3 Pt 1), E380-391. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1993.265.3.E380>
- Rothschild, J. A., Kilding, A. E., & Plews, D. J. (2020). What Should I Eat before Exercise? Pre-Exercise Nutrition and the Response to Endurance Exercise: Current Prospective and Future Directions. *Nutrients*, 12(11), 3473. <https://doi.org/10.3390/nu12113473>
- Sadava, D., Hillis, D. M., Heller, H. C., & Hacker, S. D. (2019). Purves Biologie. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58172-8>

- Schaumberg, M. A., Jenkins, D. G., Janse De Jonge, X. A. K., Emmerton, L. M., & Skinner, T. L. (2017). Three-step method for menstrual and oral contraceptive cycle verification. *Journal of science and medicine in sport*, 20(11), 965-969. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.013>
- Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*, 113(1), 147-155. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2421-x>
- Schikore. (2022). *Bestimmung der Herzfrequenz- und Sauerstoffaufnahme kinetik zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit bei Nachwuchsleistungssportlern mit verschiedenen Trainingsbelastungen am Beispiel Handball und Schwimmen.*
- Schliep, K. C., Mumford, S. L., Vladutiu, C. J., Ahrens, K. A., Perkins, N. J., Sjaarda, L. A., Kissell, K. A., Prasad, A., Wactawski-Wende, J., & Schisterman, E. F. (2015). Perceived stress, reproductive hormones, and ovulatory function: a prospective cohort study. *Epidemiology*, 26(2), 177-184. <https://doi.org/10.1097/ede.0000000000000238>
- Schmalenberger, K. M., Tauseef, H. A., Barone, J. C., Owens, S. A., Lieberman, L., Jarczok, M. N., Girdler, S. S., Kiesner, J., Ditzen, B., & Eisenlohr-Moul, T. A. (2021). How to study the menstrual cycle: Practical tools and recommendations. *Psychoneuroendocrinology*, 123, 104895. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2020.104895>
- Schumpf, L. F., Braun, C., Peric, A., Schmid, M. J., Lehnick, D., Christmann-Schmid, C., & Brambs, C. (2023). The influence of the menstrual cycle and hormonal contraceptives on cardiorespiratory fitness in physically active women: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, 9(6), e17049. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17049>
- Scott, T. J., McLaren, S. J., Caia, J., & Kelly, V. G. (2018). The reliability and usefulness of an individualised submaximal shuttle run test in elite rugby league players. *Science and Medicine in Football*, 2(3), 184-190. <https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1448937>
- Shalfawi, S. A. I., & El Kailani, G. M. K. (2021). Bayesian Estimation of the Variation in Strength and Aerobic Physical Performances in Young Eumenorrhic Female College Students during a Menstrual Cycle. *Sports*, 9(9), 130. <https://doi.org/10.3390/sports9090130>
- Shushan, T., Lovell, R., Buchheit, M., Scott, T. J., Barrett, S., Norris, D., & McLaren, S. J. (2023). Submaximal Fitness Test in Team Sports: A Systematic Review and Meta-Analysis of Exercise Heart Rate Measurement Properties. *Sports Medicine - Open*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-023-00564-w>
- Shushan, T., McLaren, S. J., Buchheit, M., Scott, T. J., Barrett, S., & Lovell, R. (2022). Submaximal Fitness Tests in Team Sports: A Theoretical Framework for Evaluating Physiological State. *Sports Medicine*, 52(11), 2605-2626. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01712-0>
- Singer, J. D., & Willett, J. B. (2003). *Applied Longitudinal Data Analysis: Modeling Change and Event Occurrence.* Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195152968.001.0001>
- Smekal, G., Von Duvillard, S. P., Frigo, P., Tegelhofer, T., Pokan, R., Hofmann, P., Tschan, H., Baron, R., Wonisch, M., Renezeder, K., & Bachtel, N. (2007). Menstrual Cycle: No

- Effect on Exercise Cardiorespiratory Variables or Blood Lactate Concentration. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(7), 1098-1106. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31805371e7>
- Smith, E. S., McKay, A. K. A., Ackerman, K. E., Harris, R., Elliott-Sale, K. J., Stellingwerff, T., & Burke, L. M. (2022). Methodology Review: A Protocol to Audit the Representation of Female Athletes in Sports Science and Sports Medicine Research. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 32(2), 114-127. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2021-0257>
- Solli, G. S., Sandbakk, S. B., Noordhof, D. A., Ihalainen, J. K., & Sandbakk, Ø. (2020). Changes in Self-Reported Physical Fitness, Performance, and Side Effects Across the Phases of the Menstrual Cycle Among Competitive Endurance Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(9), 1324-1333. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0616>
- Špenko, M., Potočnik, I., Edwards, I., & Potočnik, N. (2022). Training History, Cardiac Autonomic Recovery from Submaximal Exercise and Associated Performance in Recreational Runners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 9797. <https://doi.org/10.3390/ijerph19169797>
- Speroff, L., & Fritz, M. A. (2005). *Clinical gynecologic endocrinology and infertility*. lippincott Williams & wilkins.
- Sport., I. W. G. o. W. a. (2007). *WomenSport International. Women, gender equality and sport*. Retrieved 26.01 from <https://www.un.org/womenwatch/daw/public/Women%20and%20Sport.pdf>
- Stricker, R., Eberhart, R., Chevailler, M.-C., Quinn, F. A., Bischof, P., & Stricker, R. (2006). Establishment of detailed reference values for luteinizing hormone, follicle stimulating hormone, estradiol, and progesterone during different phases of the menstrual cycle on the Abbott ARCHITECT analyzer. *Clinical chemistry and laboratory medicine*, 44(7), 883-887. <https://doi.org/10.1515/cclm.2006.160>
- Sung, Y.-T., & Wu, J.-S. (2018). The Visual Analogue Scale for Rating, Ranking and Paired-Comparison (VAS-RRP): A new technique for psychological measurement. *Behavior Research Methods*, 50(4), 1694-1715. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1041-8>
- Suter, P. M., & Schutz, Y. (2008). The effect of exercise, alcohol or both combined on health and physical performance. *Int J Obes (Lond)*, 32 Suppl 6, S48-52. <https://doi.org/10.1038/ijo.2008.206>
- Taim, B. C., Ó Catháin, C., Renard, M., Elliott-Sale, K. J., Madigan, S., & Ní Chéilleachair, N. (2023). The Prevalence of Menstrual Cycle Disorders and Menstrual Cycle-Related Symptoms in Female Athletes: A Systematic Literature Review. *Sports Medicine*, 53(10), 1963-1984. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01871-8>
- Tarnopolsky, M. A. (2000). Gender Differences in Substrate Metabolism During Endurance Exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 25, 312-327. <https://doi.org/10.1139/h00-024>
- Tarnopolsky, M. A. (2008). Sex Differences in Exercise Metabolism and the Role of 17-Beta Estradiol. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(4), 648-654. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31816212ff>
- Taylor, M. Y., Osborne, J. O., Topranin, V. M., Engseth, T. P., Solli, G. S., Valsdottir, D., Andersson, E., Øistuen, G. F., Flatby, I., Welde, B., Morseth, B., Haugen, T., Sandbakk, Ø., & Noordhof, D. A. (2024). Menstrual Cycle Phase has no Influence

- on Performance-Determining Variables in Endurance-Trained Athletes: The FENDURA Project. *Med Sci Sports Exerc.* <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000003447>
- Timmons, B. W., Hamadeh, M. J., Devries, M. C., & Tarnopolsky, M. A. (2005). Influence of gender, menstrual phase, and oral contraceptive use on immunological changes in response to prolonged cycling. *Journal of applied physiology*, 99(3), 979–985. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00171.20>
- Vaiksaar, S., Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Kalytko, S., Shakhlina, L., & Jürimäe, T. (2011). No effect of menstrual cycle phase and oral contraceptive use on endurance performance in rowers. *J Strength Cond Res*, 25(6), 1571-1578. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181df7fd2>
- Van Reen, E., & Kiesner, J. (2016). Individual differences in self-reported difficulty sleeping across the menstrual cycle. *Arch Womens Ment Health*, 19(4), 599-608. <https://doi.org/10.1007/s00737-016-0621-9>
- Vena, W., & Paschou, S. A. (2021). Sports and the menstrual cycle. Case reports in women's health. 33, e00367. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crwh.2021.e00367>
- Vogel, K., Larsen, B., McLellan, C., & Bird, S. P. (2023). Female Athletes and the Menstrual Cycle in Team Sports: Current State of Play and Considerations for Future Research. *Sports*, 12(1), 4. <https://doi.org/10.3390/sports12010004>
- Volek, J. S., Noakes, T., & Phinney, S. D. (2015). Rethinking fat as a fuel for endurance exercise. *Eur J Sport Sci*, 15(1), 13-20. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.959564>
- Walsberg, G. E., & Wolf, B. O. (1995). Variation in the Respiratory Quotient of Birds and Implications for Indirect Calorimetry Using Measurements of Carbon Dioxide Production. *Journal of Experimental Biology*, 198(1), 213-219. <https://doi.org/10.1242/jeb.198.1.213>
- Wenz, M., Berend, J. Z., Lynch, N. A., Chappell, S., & Hackney, A. C. (1997). Substrate oxidation at rest and during exercise: effects of menstrual cycle phase and diet composition. *Journal of physiology and pharmacology : an official journal of the Polish Physiological Society*, 48(4), 851-860.
- WHO, W. H. O. (1995). *Body Mass Index (BMI)*. Retrieved 10.04 from <https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/topic-details/GHO/body-mass-index>
- Wideman, L., Montgomery, M. M., Levine, B. J., Beynnon, B. D., & Shultz, S. J. (2013). Accuracy of Calendar-Based Methods for Assigning Menstrual Cycle Phase in Women. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 5(2), 143-149. <https://doi.org/10.1177/1941738112469930>
- Williams, J. S., Stone, J. C., Masood, Z., Bostad, W., Gibala, M. J., & MacDonald, M. J. (2023). The impact of natural menstrual cycle and oral contraceptive pill phase on substrate oxidation during rest and acute submaximal aerobic exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 135(3), 642-654. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00111.2023>
- Williams, N. (2017). The Borg Rating of Perceived Exertion (RPE) scale. *Occupational Medicine*, 67(5), 404-405. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqx063>
- Williams, T. J., & Krahenbuhl, G. S. (1997). Menstrual cycle phase and running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(12), 1609-1618.

[https://journals.lww.com/acsm-  
msse/fulltext/1997/12000/menstrual\\_cycle\\_phase\\_and\\_running\\_economy.10.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/1997/12000/menstrual_cycle_phase_and_running_economy.10.aspx)

- Wolfe, R. R. (1998). Fat metabolism in exercise. *Adv Exp Med Biol*, 441, 147-156. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1928-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1928-1_14)
- Zderic, T. W., Coggan, A. R., & Ruby, B. C. (2001). Glucose kinetics and substrate oxidation during exercise in the follicular and luteal phases. *J Appl Physiol* (1985), 90(2), 447-453. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.2.447>
- Ziomkiewicz, A., Ellison, P. T., Lipson, S. F., Thune, I., & Jasienska, G. (2008). Body fat, energy balance and estradiol levels: a study based on hormonal profiles from complete menstrual cycles. *Human Reproduction*, 23(11), 2555-2563. <https://doi.org/10.1093/humrep/den213>

## Abkürzungsverzeichnis

BL .....	<i>Baseline</i>
EFP .....	<i>frühe Follikelphase, frühe Follikelphase</i>
FP .....	<i>Follikelphase</i>
FSH .....	<i>Follikel stimulierendes Hormon</i>
GE .....	<i>Gross Efficiency</i>
Hf .....	<i>Herzfrequenz</i>
IH .....	<i>höheres Intervall</i>
IL .....	<i>niedrigeres Intervall</i>
LFP .....	<i>späte Follikelphase</i>
LH .....	<i>luteinisierendes Hormon</i>
LP .....	<i>Lutealphase</i>
MLP .....	<i>mittlere Lutealphase</i>
MP .....	<i>Menstruationsphase</i>
MZ .....	<i>Menstruationszyklus</i>
RER .....	<i>Respiratorisches Austauschverhältnis</i>
RPE .....	<i>Subjektives Belastungsempfinden</i>
TEE .....	<i>total energy expenditure</i>
$\dot{V}O_2$ .....	<i>Sauerstoffaufnahme</i>
$\dot{V}O_2$ max .....	<i>maximale Sauerstoffaufnahme</i>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wechselnde Konzentrationen der weiblichen Sexualhormone (FSH (blau), LH (schwarz), Östrogen (rot) & Progesteron (gestrichelt)) in den MZ-Phasen nach Meignié et al (2021).MP = Menstruationsphase; FP = Follikelphase; OP = Ovulationsphase; LP = Lutealphase. ....	4
Abbildung 2: Direkte (durchgezogene Pfeile) und indirekte (gestrichelte Pfeile) Auswirkungen von Östrogen (E2) auf die Regulierung des Energiestoffwechsels und die Verfügbarkeit von Energiesubstraten. FFA = freie Fettsäuren; G = Glucagon; GH = Wachstumshormone; In = Insulin; TG= Triglyceride; ↑ = Zunahme; ↓ = Abnahme; Δ = Delta. Übernommen aus Davis & Hackney (2017).....	7
Abbildung 3: Crossover Konzept nach Brooks & Mercier (1994a): Mit steigender Trainingsintensität zunehmende Kohlenhydrat- und sinkende Fettoxidation. MFO = Punkt der maximalen Fettoxidation; CHO = Kohlenhydrate. Adaptiert von Purdom et al. (2018). ....	10
Abbildung 4: Testablauf der Studie. * = Zeitpunkt des Eisprungs; GXT = Stufentest; KKT = Körperkerntemperatur; OT = Ovulationstest; TvE = Tage vor Eisprung; TnE = Tage nach Eisprung; ∘ = Testwiederholungen. ....	18
Abbildung 5: Zusammenfassung des Ablaufschemas der Ersttestungen. ....	22
Abbildung 6: Zusammenfassung des Ablaufschemas der submaximalen Testungen.....	24
Abbildung 7: (links): Einordnung der relativen $\dot{V}O_2\text{max}$ [ml/kg/min] (links) und der relativen Wattleistung [W/kg] (rechts) nach Decroix et al. (2016).....	33
Abbildung 8: Individuelle Verläufe der RER-Werte vor Testbeginn. RER = Respiratorischer Quotient; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.....	39
Abbildung 9: Individuelle Verläufe der RER-Werte im IL. RER = Respiratorischer Quotient; IL = Intervall low; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.....	40
Abbildung 10: Individuelle Verläufe der RER-Werte im IH. RER = Respiratorischer Quotient; IH = Intervall high; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere	

Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.....41

Abbildung 11: Individuelle Verläufe der  $\Delta$ -RER-Werte zwischen dem Startwert und dem Wert der IH. RER = Respiratorischer Quotient; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....42

Abbildung 12: Individuelle Verläufe der Total Energy Expenditure [kcal/min] im IL. IL = Intervall low; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.....43

Abbildung 13: Individuelle Verläufe der CHO-Oxidation [kcal/min]. CHO-Oxidation = Kohlenhydratoxidation; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.....44

Abbildung 14: Individuelle Verläufe der Fett-Oxidation [kcal/min]. MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt.....44

Abbildung 15: Individuelle Verläufe der GE. GE = Gross Efficiency; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....45

Abbildung 16: Individuelle Verläufe der Total Energy Expenditure [kcal/min] im IH. IH = Intervall high; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig.....46

Abbildung 17: Individuelle Verläufe der Zeitkonstante Tau [s] im IL. IL = Intervall low; MP = Menstruations-phase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....47

Abbildung 18: Individuelle Verläufe der Zeitkonstante Tau [s] im IH. IH = Intervall high; MP = Menstruations-phase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ =

Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....47

Abbildung 19: Individuelle Verläufe der Zeitkonstante  $H_f$  [bpm] im IL. IL = Intervall low;  $H_f$  =  $H_f$ ; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....48

Abbildung 20: Individuelle Verläufe der Zeitkonstante  $H_f$  im IH. IH = Intervall high;  $H_f$  =  $H_f$ ; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....49

Abbildung 21: Individuelle Verläufe des RPE im IL. RPE = rate of perceived exertion; IL = Intervall low; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ● = Überschneidung mehrerer Farben. ....50

Abbildung 22: Individuelle Verläufe des RPE im IH. RPE = rate of perceived exertion; IH = Intervall high; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....50

Abbildung 23: Individuelle Verläufe der Laktatkonzentrationen [mmol/l] im IL. IL = Intervall low; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....51

Abbildung 24: Individuelle Verläufe der Laktatkonzentrationen [mmol/l] in B. B = Baseline; IL = Intervall low; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....52

Abbildung 25: Individuelle Verläufe der Laktatkonzentrationen [mmol/l] im IH. IH = Intervall high; MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....52

Abbildung 26: Individuelle Verläufe der  $\Delta$ -Laktatkonzentrationen [mmol/l] zwischen der Konzentration nach dem IH und neun Minuten nach Testende.  $\Delta$  = Delta IH = Intervall high;

*MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase ▲ = Parameter steigt erst und fällt dann; ► = Parameter fällt stetig; ▼ = Parameter fällt erst und steigt dann; ◀ = Parameter steigt stetig. ....53*

*Abbildung 27: Graphische Einordnung der prozentualen Abweichung der individuellen Verläufe. Neutral = keine Zuordnung möglich (<5% Abweichung vom eigenen Mittelwert); MP = Menstruationsphase; LFP = späte Follikelphase; MLP = mittlere Lutealphase; rot = schlechteste MZ-Phase; grün = beste MZ-Phase.....58*

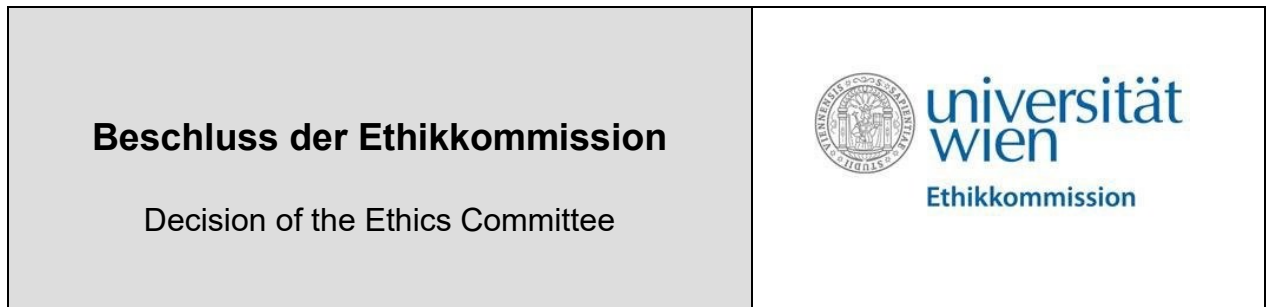
*Abbildung 28: Zusammenfassung der MZ's exkludierter Probandinnen und möglicher Ursachen. BMI = Body-Mass-Index [kg/m<sup>2</sup>]; KFA = Körperfettanteil [%] .....62*

## Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Inkludierte MZ-Phasen aller ovulatorischen Probandinnen (n = 12)</i> .....	30
<i>Tabelle 2: Teilnehmerinnencharakteristik</i> .....	31
<i>Tabelle 3: Leistungsparameter des Pre-Tests</i> .....	32
<i>Tabelle 4: Gewicht und BMI an den submaximalen Testzeitpunkten aller inkludierten Probandinnen (n = 10)</i> .....	33
<i>Tabelle 5: Respiratorischer Quotient verschiedener Zeitpunkte vor, während und nach der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10)</i> .....	34
<i>Tabelle 6: Parameter des Energiestoffwechsels an verschiedenen Zeitpunkten während der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10)</i> .....	35
<i>Tabelle 7: Parameter der Zeitkonstante Tau zur Darstellung der Sauerstoffaufnahmekinetik an verschiedenen Zeitpunkten während der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10)</i> .....	36
<i>Tabelle 8: Hf-Werte verschiedener Zeitpunkte während der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10)</i> .....	37
<i>Tabelle 9: RPE-Werte verschiedener Zeitpunkte während der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10)</i> .....	37
<i>Tabelle 10: Laktatkonzentrationen verschiedener Zeitpunkte während und nach der Testung aller inkludierten Probandinnen (n = 10)</i> .....	38
<i>Tabelle 11: Tabellarische Einordnung der prozentualen Abweichung der individuellen Verläufe</i> .....	54
<i>Tabelle 12: Abweichung vom individuell errechneten Mittelwert aller Parameter (ausgenommen <math>\Delta</math>-Laktat &amp; <math>\Delta</math>-RER)</i> .....	115

# Anhang

## Anhang A



Antragsteller\*in / Applicant: **Mag. Dr. Astrid Mathy, Bakk.**

Bearbeitungsnummer / Reference Number: **01072**

Projekttitle / Title of Project: **Einfluss des Menstruationszyklus auf submaximale Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit bei sportlich aktiven, eumenorrhöischen Frauen**

Die Stellungnahme der Ethikkommission erfolgt aufgrund folgender eingereichter Unterlagen / The decision of the Ethics Committee is based on the following documents:

16.10.2023

- 01\_Antragsformular
- 02\_Teilnehmerinneninformation-Einverstaendniserklaerung
- 03\_Studiendesign
- 04\_Anamnesebogen
- 05\_Aufzeichnung zum ersten Zyklus
- 06\_Einladung zur Teilnahme an der Studie
- Cover\_Letter

06.12.2023

- 01\_Antragsformular\_neu
- 02\_Teilnehmerinneninformation-Einverstaendniserklaerung\_NEU
- cover letter\_revision

Die Kommission fasst folgenden Beschluss (mit X markiert) / The Ethics Committee has made the following decision (marked with an X):



Zustimmung: Es besteht kein ethischer Einwand gegen die Durchführung der Studien. /

Consent: There is no ethical objection to conduct the study as proposed.



Negative Beurteilung: Der Antrag wird von der Ethikkommission abgelehnt. / Negative evaluation: The proposal is rejected by the Ethics Committee.

Inhaltliche Abänderungen müssen der Ethikkommission vorgelegt werden. / Amendments to the content must be presented to the Ethics Committee.



# Anhang B

## ERNÄHRUNGSPROTOKOLL

Datum: \_\_\_\_\_

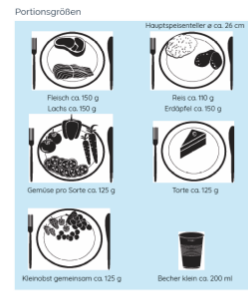
Arbeitstag/Alltag

Probanden-ID: \_\_\_\_\_

freier Tag/Wochenende

Größe und Gewicht: \_\_\_\_\_

Urlaub

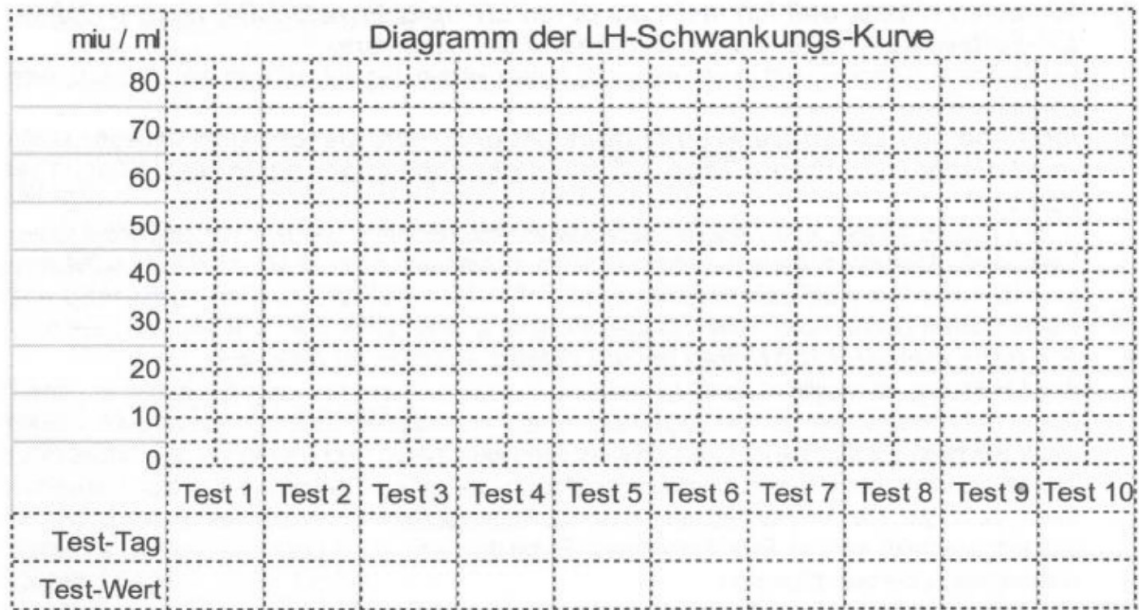


	Uhrzeit	Essen	Getränke	Anmerkungen
Frühstück				
zwischen durch				
Mittagessen				
zwischen durch				
Abendessen				
später				

## Anhang C „Aufzeichnungen zum ersten Zyklus I“ Zyklus kalender

Zyklus tag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Datum																															
Messzeit:																															
Temperatur																															
Geschlechtsverkehr																															
Blutung																															

Anhang D „Aufzeichnungen zum ersten Zyklus II“



Anhang E „Aufzeichnungen zum ersten Zyklus III“

Antimast-Selz<sup>®</sup> TN PMS-Kalender  
www.antimast.de

Name: \_\_\_\_\_ Monat: \_\_\_\_\_

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Blutung																															
Depressive Verstimmung																															
Brustspannen																															
Wassereinlagerungen																															
Heißhunger																															
Blähbauch																															
Schlafstörungen																															
Kopfschmerzen																															
Appetitsteigerung																															
Angst/Anspannung																															
Völlegefühl																															
Weinerlichkeit																															
Ermüdung																															
Reizbarkeit																															
Überempfindlichkeit																															
Isolationsgefühl																															
Vergesslichkeit																															
Konzentrationsprobleme																															
Akne																															
Stimmungslabilität																															
Wutausbrüche																															

leichte Beschwerden bzw. Blutung   
  mittelstarke Beschwerden bzw. Blutung   
  starke Beschwerden bzw. Blutung

Anhang F

Code: \_\_\_\_\_

Größe: \_\_\_\_\_ cm

Gewicht: \_\_\_\_\_ kg

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Zyklustag: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Kadenz: \_\_\_\_\_ rpm

Stufe	Stufendauer	Leistung [W]	HF [bpm]	Laktat [mmol/L]
0 = Ruhe				
1	00:00 - 00:59			
2	01:00 - 01:59			
3	02:00 - 02:59			
4	03:00 - 03:59			
5	04:00 - 04:59			
6	05:00 - 05:59			
7	06:00 - 06:59			
8	07:00 - 07:59			
9	08:00 - 08:59			
10	09:00 - 09:59			

11	10:00 - 11:59			
12	11:00 - 11:59			
13	12:00 - 12:59			
14	13:00 - 13:59			
15	14:00 - 14:59			
16	15:00 - 15:59			
17	16:00 - 16:59			
18	17:00 - 17:59			
19	18:00 - 18:59			
20	19:00 - 19:59			
Laktat Nachbelastung 3'				
Laktat Nachbelastung 6'				
Laktat Nachbelastung 9'				
RPE (Session):				

Abbruchgrund:

Anhang G

Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Größe: \_\_\_\_\_ cm

Gewicht (Low E2): \_\_\_\_\_ kg

Gewicht (High E2): \_\_\_\_\_ kg

Gewicht (High E2 & P): \_\_\_\_\_ kg

Datum Stufentest: \_\_\_\_\_

Kadenz: \_\_\_\_\_ rpm

Datum Low E2: \_\_\_\_\_

Datum High E2: \_\_\_\_\_

Datum High E2 & P: \_\_\_\_\_

Zeit	Phase	Leistung [W]	HF [bpm]	Laktat [mmol/L]	Intervall-RPE
0 = Ruhe				---	---
00:00 - 02:59	Baseline			---	---
03:00 - 8:59	Interval low				
09:00 - 14:59	Baseline				---
15:00 - 20:59	Interval high			---	

LOW E2

Laktat [mmol/L]	
Ende der Belastung	
Nachbelastung 3'	
Nachbelastung 6'	
Nachbelastung 9'	
RPE (Session):	

Zeit	Phase	Leistung [W]	HF [bpm]	Laktat [mmol/L]	Intervall-RPE
0 = Ruhe				---	---
00:00 - 02:59	Baseline			---	---
03:00 - 8:59	Interval low				
09:00 - 14:59	Baseline				---
15:00 - 21:59	Interval high			---	

High E2

Laktat [mmol/L]	
Ende der Belastung	
Nachbelastung 3'	
Nachbelastung 6'	
Nachbelastung 9'	
RPE (Session):	

Zeit	Phase	Leistung [W]	HF [bpm]	Laktat [mmol/L]	Intervall-RPE
0 = Ruhe				---	---
00:00 - 02:59	Baseline			---	---
03:00 - 8:59	Interval low				
09:00 - 14:59	Baseline				---
15:00 - 21:59	Interval high			---	

High E2 & P

<b>Laktat [mmol/L]</b>		
Ende der Belastung		
Nachbelastung 3'		
Nachbelastung 6'		
Nachbelastung 9'		
RPE (Session):		

## **Teilnehmerinneninformation und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie:**

### ***Einfluss des Menstruationszyklus auf submaximale Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit bei aktiven, eumenorrhöischen Frauen***

Sehr geehrte Teilnehmerin,

wir laden Sie ein, an der oben genannten Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen Gespräch.

**Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit, ohne Angabe von Gründen, Ihre Bereitschaft zur Teilnahme ablehnen oder auch im Verlauf der Studie zurückziehen. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Sie.**

Diese Art von Studien ist notwendig, um verlässliche neue *wissenschaftliche* Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung von Studien ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch sorgfältig durch und zögern Sie nicht Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmerin an dieser Studie im Klaren sind.

#### **1. Was ist der Zweck der Studie?**

Der Zweck der geplanten Studie ist es zu untersuchen, ob der Menstruationszyklus verschiedene Kenngrößen der Ausdauerleistungsfähigkeit beeinflusst. Dabei werden

diese sportartspezifische Kenngrößen mittels eines Fahrradtests auf einem Radergometer bei Frauen, welche keine hormonellen Verhütungsmittel verwenden, erhoben. Diese werden zum einen in der Phase des Menstruationszyklus getestet, in welcher der Östrogenspiegel niedrig (Tag 1-3 des Zyklus), ein weiteres Mal bei hohem Östrogenspiegel (ca. Tag 3 Tage vor dem Eisprung) sowie ein letztes Mal, wenn sowohl der Östrogen- als auch der Progesteronspiegel (ca. 6-8 Tage nach dem Eisprung) hoch sind. Die Ergebnisse sollen dazu dienen, das Training und die Wettkämpfe besser nach dem Menstruationszyklus steuern zu können.

## **2. Wie läuft die Studie ab?**

Zu Beginn findet eine Vorbesprechung und weiters sieben Testungen an unterschiedlichen Tagen statt. Dazu wird zu Beginn ein stufenförmiger Test bis zur Ausbelastung durchgeführt und in den darauffolgenden zwei Menstruationszyklen werden sechs weitere Messungen durchgeführt (ein Zyklus beginnt mit dem ersten Tag der Monatsblutung, Zyklustag 1, und endet mit dem letzten Tag vor Wiedereintreten der Monatsblutung).

Bei der Vorbesprechung werden Ein- und Ausschlusskriterien durch die Studienleiterin und/oder Versuchsleiterin überprüft. Anschließend bekommen Sie fünf Ovulationsstreifen und das Dokument „Aufzeichnungen zum ersten Zyklus“.

Zyklus 1:

Im ersten Zyklus notieren Sie bitte täglich ihre Körperkerntemperatur, welche Sie mit einem von

uns bereitgestellten Fieberthermometer morgens beim Aufstehen messen. Tragen Sie bitte die Körperkerntemperatur im dafür vorgesehenen Dokument „Aufzeichnungen zum ersten Zyklus“ ein. Bitte starten Sie mit der Anwendung der Ovulationsstreifen drei Tage vor dem vermuteten Eisprung. Dazu wird der Streifen mit etwas Urin in Verbindung gebracht und verfärbt sich, wenn das Hormon LH erkannt wird (dieses wird kurze Zeit vor dem Eisprung ausgeschüttet). Der Eisprung wird 14 Tage vor Eintritt der nächsten Regel vermutet, deshalb startet die Anwendung der Ovulationsstreifen 18 Tage vor dem (vermuteten) ersten Tag der nächsten Regelblutung. In der Vorbesprechung mit der Versuchsleitung oder Studienleitung besprechen wir die für Sie individuell angepassten Tage zur Anwendung der Ovulationsstreifen. Bitte notieren Sie das Ergebnis des Ovulationstests gemeinsam ebenfalls im dafür vorgesehenen Dokument „Aufzeichnungen zum ersten Zyklus“. Bitte bringen Sie das ausgefüllte Dokument zum ersten Testzeitpunkt mit. Zur Bestimmung ihrer Ausdauerleistungsfähigkeit wird einmalig ein stufenförmiger Belastungstest durchgeführt.

Zyklus 2 und 3:

Der erste Testzeitpunkt zur formellen Datensammlung findet an den Tagen 1-5 des Folgezyklus statt. Aufgrund der Aufzeichnungen im ersten Zyklus wird der Zeitpunkt des Eisprungs ermittelt und die zweite Testung findet 1-3 Tage vor dem erwarteten Eisprung statt (Zum Beispiel: Bei einem Menstruationszyklus von 28 Tagen mit dem Eisprung an Tag 14 findet die erste Testung an Zyklustag 1-3 und die zweite Testung

an Tag 11-13 statt.). Darauf folgt eine Testung 6-8 Tage nach der Ovulation. Der gleiche Ablauf von Zyklus 2 wiederholt sich in Zyklus drei.

Jede der sechs Testungen läuft folgendermaßen ab: Vor jeder Testung wird Ihnen Blut in der Ellenbeuge abgenommen, um relevante Blutwerte zu bestimmen. Bei den Ausdauer-Testungen werden Ihnen zwei unterschiedliche Widerstände vorgegeben, die sich am Ergebnis des stufenförmigen Ausbelastungstests zu Beginn der Studie orientieren. Dabei treten Sie für 6 min ohne nennenswerte Last, bevor der Widerstand für 6 min erhöht wird. Danach folgt eine 6 min Phase ohne nennenswerte Last, bevor der Widerstand für 6 min wieder erhöht wird. Während des gesamten Tests werden die Atemgase mit einer Maske gemessen. Nach dem Test wird im Abstand von 3, 6 und 9 Minuten ein Tropfen Blut aus dem Ohrläppchen entnommen. Dies dient zur Ermittlung der maximalen Blutlaktatkonzentration, um Ihre Beanspruchung zu bestimmen. Weiters wird Ihr subjektives Belastungsempfinden während und nach dem Test notiert. Weiters wird vor den Radergometertests zu jedem Erhebungszeitpunkt Körpergewicht und Körpergröße im Labor gemessen.

Die Testungen werden im Labor des Leistungssport Austria (Johann-Steinböck-Str. 19, 2345 Brunn am Gebirge) oder im Labor des Instituts für Sport- und Bewegungswissenschaft (Auf der Schmelz 6, 1150 Wien) durchgeführt. Die Testdauer beträgt pro Testung ca. 60 min. Inklusiv der Vorbesprechung wird mit einem Zeitaufwand von ca. 8 h innerhalb von ca. 90 Tagen gerechnet.

### **3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?**

Es ist nicht zu erwarten, dass Sie aufgrund Ihrer Teilnahme einen gesundheitlichen Nutzen ziehen. Die Teilnahme ist selbstverständlich mit keinerlei Kosten verbunden. Sie erhalten anschließend sowohl die persönlichen Ergebnisse, als auch die Resultate und Erläuterungen nach Abschluss des Projekts auf Anfrage bei der Studienleitung oder Versuchsleitung.

### **4. Gibt es Risiken bei der Durchführung der Studie und ist mit Beschwerden oder anderen Begleiterscheinungen zu rechnen?**

Durch die Teilnahme an der Studie sind keine zusätzlichen Risiken zu erwarten, die nicht auch während der üblichen Sportausübung auftreten können. Es besteht die Möglichkeit, dass die Erschöpfung nach einer Testung einige Stunden andauert und dass sich ein Muskelkater bildet, der jedoch nach einigen Tagen nicht mehr spürbar ist. Daher können die Belastungstests als intensive sportliche Tätigkeiten angesehen werden. Die Blutabnahmen am Ohrläppchen und in der Ellenbeuge können zu vorübergehenden kleinen Hämatomen („blaue Flecken“) führen, die sich jedoch nach kurzer Zeit wieder zurückbilden. Die im Rahmen der Studie angewandten Untersuchungsmethoden werden in Österreich regelmäßig eingesetzt. Gesundheitliche Vorbelastungen müssen der Versuchsleiterin und/oder der Studienleiterin mitgeteilt werden und dies kann zu einem Ausschluss aus der Studie führen.

#### Ausschlusskriterien:

- Verletzungen, die eine Teilnahme am Training aus gesundheitlicher Sicht nicht erlauben
- Kardiovaskuläre, pulmonale oder metabolische Erkrankung(en), die die Teilnahme an den Tests nicht erlauben
- Akute Infektionen ab 1 Woche vor dem ersten Messzeitpunkt und während der gesamten Studiendauer
- Bekannte Autoimmunkrankheit oder Erkrankung des Immunsystems betreffend
- Einnahme von Medikamenten, die die Messung beeinflussen könnten oder laut WADACode im Training und/oder Wettkampf verboten sind
- Alter <16 Jahren bzw. >40 Jahren
- Einnahme einer hormonellen Verhütungsmethode (z.B. Hormonpille, Hormonspirale...)
- Ausbleiben des Menstruationszyklus in den untersuchten Zyklen sowie Schwangerschaft

#### Einschlusskriterien:

- Frauen im Alter zwischen 16 und 40 Jahren
- Regelmäßiger Menstruationszyklus (zwischen 21 und 35 Tage Zyklusdauer wird als gesunde Zyklusdauer angenommen)
- Regelmäßig sportlich-aktiv – mind. 3x pro Woche 1h moderates Training im Bereich Ausdauer oder Spielsportarten
- aktuell und in den letzten drei Monaten vor Studienteilnahme keine hormonelle Verhütung
- Motivation an Leistungstest mitzumachen
- Schriftliche Einverständnis zur Teilnahme an der Studie bei der Einverständniserklärung
- Zustimmung zu einer körperlicher Ausbelastung

**5. Hat die Teilnahme an der Studie sonstige Auswirkungen auf die Lebensführung und welche Verpflichtungen ergeben sich daraus?**

Am Tag vor der Untersuchung dürfen nur leichte körperliche Aktivitäten durchgeführt werden, sodass Sie die Testungen in ermüdungsfreiem Zustand absolvieren. Drei Stunden vor dem Test sollten sie die letzte Mahlzeit eingenommen haben. Bitte verzichten Sie 24 h vor der Testung auf Alkohol und zumindest 3 h vor der Testung auf Kaffee und andere koffeinhaltige Getränke (zB. Energydrinks). Wasser können Sie selbstverständlich auch unmittelbar vor dem Test noch trinken, so dass sie gut hydriert (Flüssigkeit aufgenommen) im Labor erscheinen.

**6. Was ist zu tun beim Auftreten von Beschwerdesymptomen, unerwünschten Begleiterscheinungen und/oder Verletzungen?**

Sollten im Verlauf der Studie Symptome, Begleiterscheinungen oder Verletzungen auftreten, müssen Sie diese der Studienleiterin und/oder Versuchsleiterin mitteilen. Bei schwerwiegenden Begleiterscheinungen ist die Studienleiterin und/oder Versuchsleiterin umgehend zu kontaktieren (Kontaktdaten siehe Punkt 10).

**7. Wann wird die Studie vorzeitig beendet?**

Sie haben das Recht, Ihre Teilnahmebereitschaft jederzeit zu widerrufen. Dies ist auch ohne Angabe von Gründen möglich. Durch ein Ausscheiden aus der Studie entstehen keine Nachteile für Sie. Um die Bereitschaft zur Teilnahme zu widerrufen, können Sie jederzeit die Versuchsleiterin kontaktieren (persönlich, per Mail oder Telefon, siehe Punkt 10).

Es ist aber auch möglich, dass die Versuchsleiterin entscheidet, Ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig zu beenden. Hierbei muss vorher kein Einverständnis von Ihnen eingeholt werden. Die Gründe hierfür können sein:

- a) Sie können den Erfordernissen der Studie nicht entsprechen
- b) Die Versuchsleiterin hat den Eindruck, dass eine weitere Teilnahme an der Studie nicht in Ihrem Interesse ist.

**8. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?**

Um die Anonymität zu gewährleisten, werden für die Auswertung die Namen der Teilnehmerinnen durch eine Ziffer ersetzt. Auch die Blutröhrchen werden ausschließlich mit einer Ziffer gekennzeichnet und nicht mit Ihrem Namen. Die Namen der Teilnehmerinnen sind ausschließlich der Studienleiterin und Versuchsleiterin bekannt und werden nur auf der Einverständniserklärung und einer Zuordnungsdatei (Code und Name) vermerkt. Diese Zuordnungsdatei befindet sich auf dem passwortgeschützten Rechner der Versuchsleiterin, zu dem nur diese Zugang hat. Die Versuchsleiterin ist verpflichtet keinerlei Auskunft über persönliche Daten und Ergebnisse zu geben. Die aufgenommenen Daten werden ausschließlich zu statistischen Zwecken gesammelt und verwendet. Auch in etwaigen Veröffentlichungen

der Daten dieser Studie werden Sie nicht namentlich genannt. Die Zuordnungsdatei (Code und Name) wird 8 Wochen nach Ihrem letzten Test gelöscht. Nur die am Projekt mitwirkenden Personen haben Zugang zu den Daten und sind zudem zur Verschwiegenheit verpflichtet. Die aufgezeichneten Daten werden getrennt von den Einverständniserklärungen aufbewahrt und in verschließbaren Kästen gelagert. Sie haben die Möglichkeit, sowohl in die persönlichen Ergebnisse, als auch in das Gesamtergebnis Einsicht zu erhalten. Hierfür können Sie persönlich vorsprechen. Ihre persönlichen Ergebnisse können Sie allerdings nur bis 8 Wochen nach Ihrem letzten Test einsehen, da danach die Zuordnung nicht mehr möglich ist. Dies verlangt eine terminliche Vereinbarung (Kontaktdaten siehe Punkt 10). Sie haben zudem das Recht, die Löschung ihrer Daten innerhalb von 8 Wochen nach Ihrem letzten Test zu beantragen. Wenden Sie sich diesbezüglich ebenfalls an die Kontaktpersonen der Studie (Kontaktdaten siehe Punkt 10).

**9. Entstehen für die Teilnehmerinnen Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?**

Für die Teilnahme an dieser Studie kann keinerlei Vergütung und kein Kostenersatz gewährt werden. Die Teilnahme sowie die zur Verfügung gestellten Ergebnisse sind für Sie kostenlos.

**10. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen**

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie steht Ihnen die Studien- und Versuchsleitung gerne zur Verfügung. Dies betrifft auch Fragen, welche Ihre Rechte, als Teilnehmerin an dieser Studie, betreffen.

Namen der Kontaktpersonen

Studienleitung	Name: Mag. Dr. Astrid Mathy  E-Mail: <a href="mailto:astrid.mathy@univie.ac.at">astrid.mathy@univie.ac.at</a> Tel: +43 664 1425 265
Projektleitung	Name: Dr. Christoph Triska, BSc MSc  E-Mail: <a href="mailto:christoph.triska@univie.ac.at">christoph.triska@univie.ac.at</a> Tel: + 43 664 158 03 55
Versuchsleiterin	Name: Lena Lauxtermann, BSc  E-Mail: <a href="mailto:lena.lauxtermann@univie.ac.at">lena.lauxtermann@univie.ac.at</a>  Tel: +49 152 56746008

## Einwilligungserklärung

Name der teilnehmenden Person in Druckbuchstaben:  
.....

Geb. Datum: .....

Ich erkläre mich bereit, an der Studie ***Einfluss des Menstruationszyklus auf submaximale Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit bei aktiven, eumenorrhöischen Frauen*** teilzunehmen.

Ich bin von Astrid Mathy oder Lena Lauxtermann ausführlich und verständlich über Zielsetzung, Bedeutung und Tragweite der Studie und die sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Teilnehmerinneninformation und Einwilligungserklärung gelesen, insbesondere den 4. Abschnitt (Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?). Aufgetretene Fragen wurden mir von der Studienleiterin und/oder Versuchsleiterin verständlich und ausreichend beantwortet. Ich hatte genügend Zeit, mich zu entscheiden, ob ich an der Studie teilnehmen möchte. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen.

Ich werde die Hinweise, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, befolgen, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Sollte ich aus der Studie ausscheiden wollen, so kann ich dies jederzeit schriftlich oder mündlich bei der Studienleiterin und/oder Versuchsleiterin veranlassen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten aufgezeichnet und ausgewertet werden.

Ich stimme zu, dass meine Daten dauerhaft in anonymisierter Form und bis 8 Wochen nach meiner letzten Testung in pseudonymisierter Form elektronisch gespeichert werden. Die Daten werden in einer Form gespeichert, die gemäß aktueller Standards gesichert ist.

Den Aufklärungsteil habe ich gelesen und verstanden. Ich konnte im Aufklärungsgespräch alle mich interessierenden Fragen stellen. Sie wurden vollständig und verständlich beantwortet.

**Eine Kopie dieser Teilnehmerinneninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt bei der Versuchsleitung.**

(Datum und Unterschrift der Teilnehmerin)

.....

(Datum, Name und Unterschrift der Versuchsleiterin oder Studienleiterin)

.....

Anhang I

## Anamnesebogen zur Erhebung der Risikofaktoren bei körperlicher Aktivität

**Studientitel:** **Einfluss des Menstruationszyklus auf submaximale Parameter der Ausdauerleistungsfähigkeit bei aktiven, eumenorrhöischen Frauen**

Name \_\_\_\_\_ Größe (cm) \_\_\_\_\_

Geburtsdatum \_\_\_\_\_ Gewicht (kg) \_\_\_\_\_

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen **nach bestem Wissen**. Sollten Sie Schwierigkeiten bei der Beantwortung einer Frage haben, kontaktieren Sie bitte die für die Untersuchung verantwortliche Person. Die Fragen sind **ausschließlich** dazu bestimmt, um Ihre Eignung für die geplanten körperlichen Aktivitäten festzustellen. Ihre Daten werden **strikt geheim** behandelt und **nicht** an dritte Personen **weitergegeben**.

		ja	nein
1a	Waren Sie während der letzten 6 Monate in ärztlicher Behandlung?		
1b	Ist aufgrund dieser ärztlichen Behandlung eine Genesung erfolgt?		
2	Wurden bei Ihnen jemals Herzbeschwerden festgestellt?		
3	Nehmen Sie regelmäßig Medikamente gegen Herzbeschwerden ein?		
4	Haben Sie während körperlicher Belastung Beschwerden im Brustkorb?		
5	Wurde bei Ihnen jemals Bluthochdruck diagnostiziert?		
6	Hatten Sie jemals unbegründete Atemnot?		
7	Hatten Sie jemals Schwindel- oder Ohnmachtsanfälle?		
8	Wurde bei Ihnen jemals Epilepsie diagnostiziert?		
9	Wurde bei Ihnen jemals Diabetes (Zuckerkrankheit) diagnostiziert?		

10	Wurde bei Ihnen jemals Asthma oder eine andere Lungenkrankheit diagnostiziert?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Nehmen Sie im Moment Medikamente ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Haben Sie im Moment Muskel- oder Gelenksbeschwerden, die durch körperliche Aktivität verschlimmert werden könnten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Haben Sie im Moment akute Verletzungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Nur für Frauen: Sind Sie schwanger?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	Besteht Ihrer Meinung nach ein Grund warum Sie nicht körperlich aktiv sein sollten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wenn Sie eine der Fragen 2-15 mit "Ja" beantwortet haben, wird vor Beginn einer körperlichen Belastung eine genauere Befragung vorgenommen.

<b>Kardiovaskuläre Risikofaktor</b>		<b>1 für Ja oder 0 für Nein</b>	
16	Aktueller Blutdruck systolisch > 140 mm Hg oder diastolisch > 90 mm Hg, wenn systolisch > 160 mm Hg oder diastolisch > 100 mm Hg nicht testen! (wird vor Ort gemessen)	<input type="checkbox"/>	
17	BMI >30 oder Taillenumfang >102 cm (Männer) oder >88 cm (Frauen) (wird vor Ort gemessen)	<input type="checkbox"/>	
18	Hatte einer Ihrer Angehörigen (Vater, Mutter, Schwester und/oder Bruder) einen Herzinfarkt?	<input type="checkbox"/>	
19	Rauchen Sie oder haben Sie innerhalb der letzten 6 Monate zu rauchen aufgehört?	<input type="checkbox"/>	
20	Sind Sie an weniger als 3 Tagen pro Woche 30 Minuten körperlich aktiv?	<input type="checkbox"/>	
	Summe der kardiovaskulären Risikofaktoren (Fragen 16-20)	<b>Summe</b>	<input type="checkbox"/>
21	Seit welchem Lebensjahr trainieren sie regelmäßig (d.h. zumindest 3x wöchentlich)?	<input type="checkbox"/>	
22	Wieviele Stunden trainierten sie im Schnitt im letzten Trainingsjahr?	<input type="checkbox"/>	
23	Wie lang dauert ihr Zyklus durchschnittlich?	<input type="checkbox"/>	

Ich habe die vorliegenden Fragen nach bestem Wissen beantwortet. Es ist mir klar, dass unrichtige Angaben ein Gesundheitsrisiko darstellen können. Ich wurde darüber informiert, dass im Rahmen dieser Untersuchungen mein Gesundheits- und Fitnessstatus erhoben wird. Ich wurde darüber informiert, dass die Belastungsuntersuchungen eine intensive körperliche Beanspruchung darstellen können. Während diesen Untersuchungen kann es zu Übelkeit, Ohnmacht oder muskulären Beschwerden kommen. Diese Risiken werden durch entsprechende Maßnahmen wie Auf- und Abwärmen sowie Anleitung in die Zielübung minimiert. Bei Auftreten von ungewöhnlichen Beschwerden werde ich den Testleiter umgehend darauf aufmerksam machen. Ich habe das Recht, jederzeit ohne Angabe von Gründen die Untersuchung zu beenden, ohne dass mir dadurch ein Nachteil entsteht. Alle im Rahmen dieser Untersuchungen erhobenen Daten werden ausschließlich in anonymer Form zu Studienzwecken verwendet und nicht an Dritte weitergegeben.

---

Datum

---

Unterschrift des Probanden und/oder dessen gesetzlichen Vertreters

## Anhang J

*Tabelle 12: Abweichung vom individuell errechneten Mittelwert aller Parameter (ausgenommen  $\Delta$ -Laktat &  $\Delta$ -RER).*

ldfk.-Nr.	MP	LFP	MLP
1	+ 0.05	- 0.03	- 0.02
4	± 0.00	- 0.04	+ 0.05
6	+ 0.01	- 0.01	± 0.00
8	+ 0.10	- 0.05	± 0.00
11	- 0.02	0.00	+ 0.05
12	+ 0.03	- 0.06	+ 0.03
14	- 0.02	+ 0.05	- 0.02
15	+ 0.07	- 0.03	- 0.03
18	+ 0.06	- 0.04	- 0.01
19	- 0.02	- 0.02	+ 0.04