

Diplomarbeit

**Körperliche Aktivität in der Schwangerschaft
Auswirkungen auf Fetus und Plazenta**

eingereicht von

Karin Magdalena Maria Fink

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

Univ. Klinikum für Gynäkologie und Geburtshilfe

unter der Anleitung von

Ao. Univ.-Prof. Dr. phil. Gernot Desoye

Mag. Dr. Ursula Hiden

Graz, Mai 2012

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Unterschrift

Danksagungen

„Keine Schuld ist dringender, als die, Dank zu sagen.“ Cicero

Ich möchte mich bei Herrn Ao. Univ.-Prof. Dr. phil. Gernot Desoye für seine Geduld, seine schnellen Antworten und seine Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken.

Der größte Dank gilt all meinen Lieben, die mich in jeder Lebenssituation unterstützt und ermutigt haben und mit denen ich immer meine Freude teilen konnte. DANKE!

Zusammenfassung

Hintergrund: Sport ist eine wichtige Komponente gesunder Lebensführung. Gerade aktive, dynamische Mütter möchten in der Schwangerschaft nicht auf Bewegung verzichten. Um eine optimale Versorgung des Kindes während der Schwangerschaft zu gewährleisten, finden zahlreiche physiologische Veränderungen im mütterlichen Körper statt. Während sportlicher Aktivitäten passt sich der Körper an die vermehrte Belastung an. Interessant sind somit die Kombination dieser Zustände und die Auswirkungen auf Fetus und Plazenta. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die physiologischen Grundlagen in Bezug auf die gegenseitige Interaktion zwischen Sport und Schwangerschaft aufzuzeigen, vorhandene Studien zu vergleichen, die Ergebnisse im Diskussionsteil zu bewerten und etwaige Schlüsse daraus zu ziehen.

Methoden: Um einen Überblick über die vorhandene Literatur zu geben und diese zu vergleichen, wird die Methode der Literaturrecherche gewählt. Das Hauptaugenmerk im ersten Teil der Arbeit liegt auf den physiologischen Grundlagen der Schwangerschaft und des Sports. Im Ergebnisteil werden Studien über Sport in der Schwangerschaft tabellarisch aufgearbeitet und beschrieben. Der Diskussionsteil enthält den direkten Vergleich der verwendeten Literatur und die Bewertung der Studien. Neben relevanten Lehrbüchern werden vornehmlich englischsprachige Studien in der Datenbank PubMed bis einschließlich dem Jahr 2012 aufgearbeitet und verwertet. Um die vorhandenen Daten auf die Auswirkungen auf Fetus und Plazenta zu reduzieren wurden teilweise Einschränkungen wie „humans“, „infant“, „all infant“ und „newborn“ verwendet. In die Arbeit werden schlussendlich 90 Artikel aufgenommen, die sich mit den Auswirkungen von sportlicher Aktivität in der Schwangerschaft auf den Fetus und die Plazenta beschäftigen.

Ergebnisse: Der Ergebnisteil wird in mehrere relevante Unterpunkte unterteilt. Diese umfassen den uterinen bzw. placentaren Blutfluss, die Hyperthermie, die fetale Herzfrequenz, das fetale Größenwachstum, die Energiebereitstellung und die Hormonveränderungen, die Geburt, die Langzeitauswirkungen und die Empfehlungen und Richtlinien. Diese Unterpunkte werden in Tabellen abgehandelt. Im Anschluss an die Tabellen werden die Studien ausführlich beschrieben. Die Beschreibung beinhaltet das Studiendesign, die Teilnehmerzahl, die Sportart, den Schwangerschaftszeitpunkt, die Intensität, die Dauer und die Ergebnisse.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse unterscheiden sich in gewissen Punkten gravierend, wobei auf den Schwangerschaftszeitpunkt, die Dauer, die Intensität der sportlichen

Betätigung und das Trainingslevel der Schwangeren Rücksicht genommen werden muss. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich submaximale sportliche Belastungen (75% VO₂max) in keiner Weise negativ auf Fetus oder Plazenta auswirken. Grund dafür sind zahlreiche Kompensationsmechanismen, die eine adäquate Versorgung der Feten während der Belastung gewährleisten. Der maximale Leistungsbereich ist noch in zu geringem Maße Gegenstand der aktuellen Forschung. Um eine sichere Empfehlung in diese Richtung geben zu können, sind weitere Studien unverzichtbar.

Abstract

Background: Exercise is an important part of a healthy life style. Especially active women do not want to quit their exercise program during pregnancy. There are a lot of physiological changes in the pregnant women to guarantee an adequate supply of the unborn child. During exercise the body adapts to the additional physical exertion. The focus is put on sports in pregnancy and the resulting effect on foetus and placenta. Aim of this diploma thesis was to summarize the physiologic changes of exercise and pregnancy, to review and evaluate the present literature and to compare the outcomes of the studies.

Methods: The applied method was the literature research. The first part of the thesis shows the physiological basics of pregnancy and sports. In the results section the studies are listed in tables with the appropriate description. The Discussion consists of the comparison and evaluation of the present literature. Next to recent established textbooks, articles found in Pubmed up to 2012 were selected. Articles written in German and English language were used. Limits were set to “humans”, “infant”, “all infant” and “newborn” to get useful results. Finally 90 articles were chosen for research in the effects of exercise in pregnancy on foetus and placenta.

Results: The following points were derived from the results of the articles: uterine and placental blood flow, hyperthermia, foetal heart rate, foetal growth, energetic and hormonal changes, labour, long term outcome and recommendations. The description of the studies contains of the study design, the number of participants, the type of sport, the gestational week, the intensity and the duration of exercise and the results.

Conclusions: The results differ a lot between the studies. Therefore it is difficult to put the outcomes into a comparable context because there are differences in the gestational week, the duration and intensity of the exercise used in the studies and the training level of the women before pregnancy. The conclusion of this thesis is that moderate exercise up to a level of 75% VO₂max does not have a negative effect on foetus and placenta. The reason therefore is, that there are different compensational mechanisms, which provide the safety of the foetus and placenta. It is not yet possible to give good advice or to create reliable guidelines for maximal exertion during pregnancy.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	iii
Zusammenfassung	iv
Abstract.....	vi
Inhaltsverzeichnis	vii
Glossar und Abkürzungen	ix
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xii
1 Einleitung.....	1
2 Physiologische Aspekte	2
2.1 Physiologie der Schwangeren.....	2
2.1.1 Herz und Kreislauf.....	2
2.1.2 Lunge und Atmung.....	3
2.1.3 Stoffwechsel	4
2.1.4 Hormonverlauf.....	5
2.1.5 Skelett und Bindegewebe	6
2.2 Physiologie des Sports.....	7
2.2.1 Herz und Kreislauf.....	7
2.2.2 Lunge und Atmung.....	10
2.2.3 Energistoffwechsel.....	12
2.2.4 Hormonsystem.....	14
2.2.5 Temperaturregulation	15
2.2.6 Adaptationserscheinungen der Muskulatur	15
2.3 Physiologie des Fetus	16
2.3.1 Herz und Kreislauf.....	16
2.3.2 Lunge und Atmung.....	18
2.3.3 Hormonsystem.....	19
2.4 Physiologie der Plazenta.....	20
2.4.1 Durchblutung der Plazenta	20
2.4.2 Stoffaustausch und Hormonproduktion.....	21
3 Material und Methoden	23

4	Ergebnisse.....	25
4.1	Herz und Kreislauf.....	25
4.1.1	Uteriner und plazentarer Blutfluss.....	25
4.1.2	Hyperthermie.....	31
4.1.3	Fetale Herzfrequenz.....	36
4.2	Lunge und Atmung.....	44
4.3	Stoffwechsel.....	45
4.3.1	Fetales Größenwachstum.....	45
4.3.2	Energiebereitstellung und Hormonveränderungen.....	53
4.4	Geburt.....	56
4.5	Langzeitauswirkungen.....	61
4.6	Empfehlungen und Richtlinien.....	63
5	Diskussion.....	67
5.1	Auswirkungen auf das Herz Kreislauf System.....	68
5.1.1	Uteriner und plazentarer Blutfluss.....	68
5.1.2	Hyperthermie.....	69
5.1.3	Fetale Herzfrequenz.....	70
5.2	Auswirkungen auf den Stoffwechsel.....	73
5.2.1	Fetales Größenwachstum.....	73
5.2.2	Energiebereitstellung und Hormonveränderungen.....	76
5.3	Auswirkungen auf die Geburt.....	76
5.4	Langzeitauswirkungen.....	78
6	Schlussfolgerung.....	79
7	Literaturverzeichnis.....	80

Glossar und Abkürzungen

A	Adrenalin
ACOG	American College of Obstetricians and Gynecologists
AF	Atemfrequenz
AGA	Appropriate for gestational age
AMV	Atemminutenvolumen
ATP	Adenosintriphosphat
AZV	Atemzugvolumen
AÄ	Atemäquivalent
BMI	Body Mass Index
bpm	Beats per minute = Schläge pro Minute
BZ	Blutzucker
FFS	Freie Fettsäuren
FHF	Fetale Herzfrequenz
FSH	Follikelstimulierendes Hormon
GFR	Glomeruläre Filtrationsrate
GG	Geburtsgewicht
G	Glucose
HCG	Human Chorionic Gonadotropin
HF	Herzfrequenz
HMV	Herzminutenvolumen = Herzzeitvolumen
HPL	Human Placental Lactogen
HRV	Herzratenvariabilität
HZV	Herzzeitvolumen = Herzminutenvolumen
I	Insulin
IUGR	Intra uterine growth reduction
KG	Kontrollgruppe
KO	Kontrollgruppe
KP	Kreatinphosphat
L	Laktat
LH	Luteinisierendes Hormon
LGA	Large for gestational age
NA	Noradrenalin

O ₂	Sauerstoff
Ö	Östradiol
P	Progesteron
P CO ₂	Kohlendioxid Partialdruck
SV	Schlagvolumen
TG	Trainingsgruppe
VK	Vitalkapazität
V O ₂ max	Maximale Sauerstoffaufnahme

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlauf der Konzentrationen der Plazentahormone im Plasma der Schwangeren (2)	6
Abbildung 2: Herzfrequenz bei körperlicher Arbeit (2)	8
Abbildung 3: Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffbedarf (2).....	11
Abbildung 4: Rekrutierung energieliefernder Systeme in der arbeitenden Muskulatur bei verschiedener Dauer und Arbeitsintensität. (8)	13
Abbildung 5: Fetalen Kreislauf (9).....	17
Abbildung 6: Einfluss von sportlicher Betätigung auf das Geburtsgewicht des Feten, eigener Entwurf nach Hopkins & Cutfield (89)	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Uteriner Blutfluss während körperlicher Betätigung.....	27
Tabelle 2:	Fetale Effekte auf eine gesteigerte maternale Temperatur während körperlicher Belastung.....	32
Tabelle 3:	Fetale Herzfrequenz während körperlicher Belastung	38
Tabelle 4:	Fetales Wachstum während maternaler körperlicher Betätigung.....	47
Tabelle 5:	Veränderung der Energiebereitstellung während maternaler körperlicher Betätigung.....	54
Tabelle 6:	Auswirkungen von mütterlichen Training auf die Schwangerschaftsdauer und Geburt.	58
Tabelle 7:	Absolute Kontraindikationen für Sport in der Schwangerschaft (77)	64
Tabelle 8:	Relative Kontraindikationen für Sport in der Schwangerschaft (77)	65
Tabelle 9:	Alarmierende Hinweiszeichen, die zu einer sofortigen Beendigung der sportlichen Aktivität führen sollen (77).....	66

1 Einleitung

„Moderate exercise in the low-risk pregnancy appears to be safe for both the fetus and mother“ (1)

Wer hätte sich vor nicht allzu langer Zeit gedacht, dass Aussagen wie diese immer mehr an Bedeutung gewinnen und auf großes Interesse in unserer Gesellschaft stoßen?

Die Einstellung unserer Gesellschaft gegenüber Sport und Bewegung hat sich in den letzten Jahrzehnten immens verändert. Galt in den 50er Jahren noch die Einschränkung nur rund 1 Meile bzw. 1,7 Kilometer an einem Tag in der Schwangerschaft zu Fuß zu gehen, veränderte sich diese Sichtweise in den letzten Jahrzehnten sehr stark. Die Fragen nach den positiven wie negativen Auswirkungen von Sport in der Schwangerschaft wurden immer lauter. Um diesen Fragen nachzugehen wurden Anfang der 80er Jahre zahlreiche Studien veröffentlicht. Bis heute stößt dieses Thema aufgrund der positiven Veränderung der Lebensweise unserer Gesellschaft auf großes Interesse. Die Kombination der physiologischen Veränderungen während der Schwangerschaft und während des Sports und die damit verbundenen Veränderungen für den Fetus und die Plazenta sind Gegenstand der Untersuchungen dieser Arbeit. Es ist bekannt, dass der gesamte Organismus eine Veränderung durch die Schwangerschaft erfährt, jedoch sind jene Parameter vorrangig, die bei zusätzlicher sportlicher Betätigung beeinflusst werden.

2 Physiologische Aspekte

2.1 Physiologie der Schwangeren

Die Schwangerschaft stellt eine vollkommen neue Situation für die werdende Mutter dar. Der weibliche Organismus muss sich an die wachsende Frucht anpassen. Zu Beginn stehen vor allem die hormonellen Veränderungen im Vordergrund. Der sehr rasche Anstieg der Östrogenproduktion verursacht bei vielen Schwangeren Erbrechen und Unwohlsein. Organfunktionen verändern sich zunehmend. Kreislauf, Atmung, Stoffwechsel, Hormonhaushalt und Bewegungsapparat passen sich an die neue Situation an (2).

2.1.1 Herz und Kreislauf

Am Beginn der Schwangerschaft kommt es durch die hormonell bedingte Vasodilatation zu subjektiv spürbaren Veränderungen des Herz-Kreislauf Systems. Das durch die Gefäßerweiterung entstehende Wärmegefühl macht sich vor allem im Bereich der Unterarme, Hände und Füße bemerkbar. Zusätzlich können Gefäßektasien im Bereich der Extremitäten (Varizen), am Genitale und an der Gesichtshaut sichtbar werden (3). Durch die Vasodilatation fällt der Blutdruck leicht ab, steigt aber bis zur Geburt wieder auf normale Werte an (2, 3).

Da durch das Einwachsen der Plazenta in den Uterus ein zusätzlicher Blutraum entsteht, muss sich das Herz Kreislauf System darauf einstellen. Das gesamte Blutvolumen nimmt vor allem in der zweiten Schwangerschaftshälfte um rund 30-40% zu. Durch die Vergrößerung des Erythrozytenvolumens und des Plasmavolumens sinken der Hämatokritwert und der Hämoglobingehalt des Blutes (2). Diese Veränderung führt zu einer physiologischen Blutverdünnung, die aufgrund der sinkenden Hämoglobinkonzentration als physiologische Schwangerschaftsanämie bezeichnet wird (3).

Das Gerinnungssystem wird durch die erhöhte Produktion der Gerinnungsfaktoren II, VII, VIII und X und durch den Anstieg der Fibrinkonzentration dahingehend beeinflusst, dass vermehrt eine Hyperkoagulabilität festgestellt werden kann. Zusätzlich ergibt sich in der

Schwangerschaft ein bis um das 10-fache erhöhtes Thromboserisiko, aus der allgemeinen Senkung des Venentonus sowie aus der Verlangsamung des venösen Rückstroms (3).

Das Herzzeitvolumen (HZV) steigt in den ersten 27 Wochen um 30-40% an, und bleibt bis zum Ende der Schwangerschaft relativ konstant auf diesem Wert (2). Um die Durchblutung zu verbessern steigt der Puls um ca. 10 bis 15 Schläge pro Minute (3). Geht man von einer Ruheherzfrequenz von 70 Schlägen pro Minute aus, so steigt folglich die HF auf ungefähr 85 Schläge pro Minute an (2).

Durch das stetige Größenwachstum des Uterus kommt es vor allem gegen Ende der Schwangerschaft zu einem Zwerchfellhochstand und in der Folge zu einer Querlagerung des Herzens. Diese Querlagerung sowie die gesteigerte Förderleistung des Herzens und die erhöhte Blutstromgeschwindigkeit können systolische Abflussbahngeräusche verursachen. Zusätzlich hört man den ersten und zweiten Herzton lauter und etwaige vorhandene Stenosegeräusche werden deutlicher (3).

Das Uteruswachstum kann Venen im Beckenbereich komprimieren, sodass der Venendruck in den Beinen im Liegen auf bis zu 25 mmHg steigen kann. Die Folge davon sind nicht selten Varizen, Ödeme oder Hämorrhoiden (2). Die gleiche Ursache kann auch die Vena cava inferior komprimieren und somit zur orthostatischen Dysregulation mit Schwindel und Ohnmacht führen (3).

2.1.2 Lunge und Atmung

Gemessen an den Ausgangswerten vor der Schwangerschaft steigen der Sauerstoffbedarf und die Kohlendioxid Produktion bis zur Geburt um 20 %. Der hohe Progesteronspiegel der Schwangeren erhöht die Empfindlichkeit des Atemzentrums gegenüber dem P_{CO_2} und führt somit zu einer überproportional zunehmenden alveolären Ventilation. Dies führt zu einer Abnahme des arteriellen P_{CO_2} der Mutter und verbessert somit die CO_2 Abgabe des Fetus.

Gegen Ende der Schwangerschaft hemmt die zunehmende Größe des Uterus die Zwerchfellbewegungen und die Atemhilfsmuskulatur wird vermehrt beansprucht. Die vermehrte Brustkorbatmung schränkt die Vitalkapazität erst im letzten Schwangerschaftsmonat ein (2).

Sehr viele Schwangere berichten über eine subjektiv empfundene Belastungs- und Ruhedyspnoe. Über die Ursache besteht allerdings keine einheitliche medizinische Meinung. So erörtert die fachliche Diskussion eine Ursächlichkeit der veränderten Erregbarkeit des Atemzentrums gegenüber CO₂, sowie Faktoren einer eingeschränkten Diffusionskapazität und die Rolle eines erhöhten Atemwegswiderstandes (3).

2.1.3 Stoffwechsel

Um der wachsenden Frucht optimale Lebensbedingungen zu schaffen, passt sich der Stoffwechsel an die neue Situation an. Durch die erhöhten Spiegel von Östrogenen und Progesteronen nimmt die Masse der Brustdrüsen und der Uterusmuskulatur zu. Das Körpergewicht verändert sich erst im zweiten Trimenon wesentlich und variiert sehr stark durch individuelle Gegebenheiten, die durch Ernährungs- und Bewegungsgewohnheiten beeinflusst werden. Bis zur Geburt beträgt die Körpergewichtszunahme im Mittel rund 12 kg. Nur 40% davon machen Fetus, Plazenta und Fruchtwasser aus. Dieser Gewichtszuwachs und der hormonell erhöhte Energieumsatz steigern den Energiebedarf der Schwangeren (2). Dieser vermehrte Energieverbrauch lässt den Grundumsatz um etwa 20% steigen (3).

Im Kohlenhydratstoffwechsel ergeben sich einige Veränderungen. So kommt es zu einer Absenkung des Nüchternblutzuckers und zu einer postprandialen Erhöhung des Blutglukosespiegels bei gleichzeitiger Erhöhung des Plasmaspiegels an freien Fettsäuren (3). Häufig kommt es auch durch die erhöhte GFR (glomeruläre Filtrationsrate) der Niere zu einer Glucosurie. Dadurch wird mehr Glucose tubulär angeboten, obwohl die tubuläre Transportkapazität abnimmt (2).

Im Verlauf der Schwangerschaft nimmt die Empfindlichkeit peripherer Organe gegenüber Insulin ab. Durch den erhöhten Blutglukosespiegel wird das Pankreas vermehrt beansprucht um die Glukosehomöostase aufrecht zu erhalten (3). Dieser Mechanismus gewährleistet die lebensnotwendige Versorgung des Feten mit Nährstoffen.

Der Fettstoffwechsel verändert sich dahingehend, dass fast alle Lipidfraktionen zunehmen und somit eine sekundäre Hyperlipidämie besteht, deren Ursache aber noch nicht geklärt werden konnte (3).

Die Gesamtproteine im Plasma nehmen mit zunehmender Schwangerschaftsdauer ab, was vor allem auf eine verminderte Konzentration des Serumalbumins zurückzuführen ist (3).

2.1.4 Hormonverlauf

Durch den normalen Menstruationszyklus der Frau reift alle 28 Tage eine Eizelle heran. Wenn der Follikel in der Follikelphase heranreift, werden von diesem Östrogene produziert. In der Lutealphase produziert der Gelbkörper, der aus dem Follikel entstanden ist, zusätzlich Progesteron. Diese Hormonproduktion des Follikels und des Gelbkörpers wird durch Hormone der Hypophyse, die Gonadotropine FSH (follikelstimulierendes Hormon) und LH (luteinisierendes Hormon), gesteuert. Nach der Befruchtung der Eizelle übernimmt im ersten Trimenon das von der Plazenta gebildete Human Chorionic Gonadotropin (HCG) die Funktion des LH und stimuliert den Gelbkörper, große Mengen an Progesteron und Östrogenen zu bilden. Dies führt zu den vorab erwähnten vegetativen Erscheinungen wie Unwohlsein und Erbrechen am Beginn der Schwangerschaft. Der Gelbkörper bildet sich nach der 12. Woche zurück, da die Plazenta in der Lage ist, Progesteron und Östrogen in ausreichenden Mengen selbst zu produzieren. Beide Hormone sind immens wichtig, um ein geburtsfähiges mütterliches Genital auszubilden. Zusätzlich hemmt Progesteron die Muskelaktivität des Uterus und verhindert somit vorzeitige Kontraktionen. Ein weiteres wichtiges Schwangerschaftshormon ist das Human Placental Lactogen (HPL), das ähnlich wie Prolactin, Milchproduktion und Wachstum der Brustdrüse induziert. Eine bedeutendere Wirkung scheint dieses Hormon allerdings auf den Kohlenhydrat und Fettstoffwechsel zu haben. So erhöht HPL den Glucosespiegel der Mutter, damit mehr Glucose für die ausreichende Versorgung des Feten besteht (2).

Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Schwangerschaftshormone im Plasma der Mutter während der Schwangerschaft.

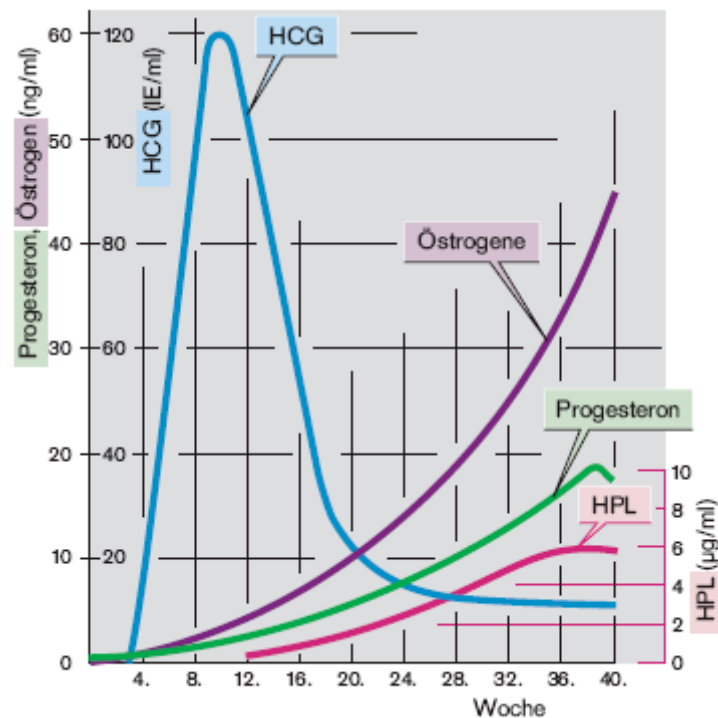


Abbildung 1: Verlauf der Konzentrationen der Plazentahormone im Plasma der Schwangeren (2)
HCG = Human Chorionic Gonadotropin, HPL = Human Placental Lactogen

2.1.5 Skelett und Bindegewebe

Der gesamte Bewegungsapparat erfährt eine schwangerschaftsspezifische hormonell bedingte Auflockerung. Um den Geburtsvorgang zu erleichtern, lockern sich die relativ starren Verbindungen des Beckenrings (Symphysenknorpel und Iliosakralgelenke). Dadurch entsteht eine relative Instabilität der Gelenke die durch den verstärkten Einsatz der Rückenmuskulatur der unteren Körperhälfte kompensiert wird. Eine Fehlhaltung der Schwangeren ist keine Seltenheit, da der an Größe und Gewicht zunehmende Uterus den Bauch nach vorne zieht und durch reflektorisches Zurückziehen der Schultern eine unphysiologische Anspannung des Musculus erector spinae und der Halsmuskulatur entsteht. Das erklärt die häufig beklagte Symptomatik der Kreuz- und Rückenschmerzen vor allem gegen Ende der Schwangerschaft (3).

2.2 *Physiologie des Sports*

Eine medizinische Darstellung der Wirkung des Sports auf die Schwangere, den Fetus und die Plazenta macht es unerlässlich, einige wichtige sportmedizinische Parameter zu erklären.

2.2.1 Herz und Kreislauf

Die vordringlichste Aufgabe des Herz-Kreislauf-Systems ist es, den Organismus in jeder Situation mit genügend Blut zu versorgen. Sportliches Training bedeutet für den Körper eine erhöhte Belastung. Um diesen erhöhten Anforderungen gerecht zu werden, muss sich das Herz-Kreislauf-System funktionell als auch morphologisch an die Situation anpassen (4).

Um nach Bedarf einen schnelleren Kreislauf des Blutes zu gewährleisten, muss sich die kardiale Förderleistung des Herzens während der Belastung erhöhen. Die Förderleistung wird als Herzminutenvolumen (HMV) oder Herzzeitvolumen (HZV) bezeichnet. Es wird berechnet aus dem Produkt des Schlagvolumens (SV) mal der Herzfrequenz (Hf).

$$\text{HMV} = \text{SV} \times \text{Hf}$$

Geht man von einer untrainierten Person aus, so beträgt deren HMV in Ruhe rund 5-6 Liter/Minute und kann unter Belastung auf bis zu 20-24 Liter/Minute ansteigen. Das Schlagvolumen beträgt ca. 80 ml in Ruhe und die Ruheherzfrequenz ca. 70 Schläge/Minute. Unter dem Einfluss regelmäßigen Ausdauertrainings wird die Förderleistung des Herzens erhöht. Es kommt zur Ausbildung des Sportherzens (Herzgröße ↑) und zu einer Zunahme des Schlagvolumens. Damit sind die funktionellen und morphologischen Voraussetzungen gegeben, die eine Abnahme der Hf unter Belastung und in Ruhe ermöglichen. Bei trainierten Individuen erhöht sich also das Schlagvolumen in Ruhe auf etwa 90-110 ml und steigt unter Belastung auf über 200 ml an. Wenn man nun von einer maximalen Herzfrequenz von 200 Schlägen/Minute ausgeht, so ergibt sich ein maximales HMV von 40 Liter/Minute und lässt einen signifikanten Leistungsunterschied zwischen Trainierten und Untrainierten erkennen (4).

Als zentrale Messgröße ist die Herzfrequenz am geeignetsten, Zustandsveränderungen im Herz-Kreislauf-System zu beurteilen. Die Regulation hängt von folgenden Einflussfaktoren ab (4):

- Lebensalter und Geschlecht
- Allgemeiner Leistungszustand
- Gesundheitszustand
- Herzgröße
- Tageszeit
- Sportart

Vom Beginn der körperlichen Belastung bis hin zur Ausbelastung steigt die Herzfrequenz in einem weiten Bereich proportional zur Sauerstoffaufnahme. Daher kann die im Routinebetrieb leicht zu messende Herzfrequenz als Maß für die Sauerstoffaufnahme gelten (90).

Abbildung 2 zeigt die Herzfrequenzveränderungen unter Rücksichtnahme der Intensität der körperlichen Arbeit. Es ergeben sich große Unterschiede zwischen leichter und schwerer körperlicher Arbeit.

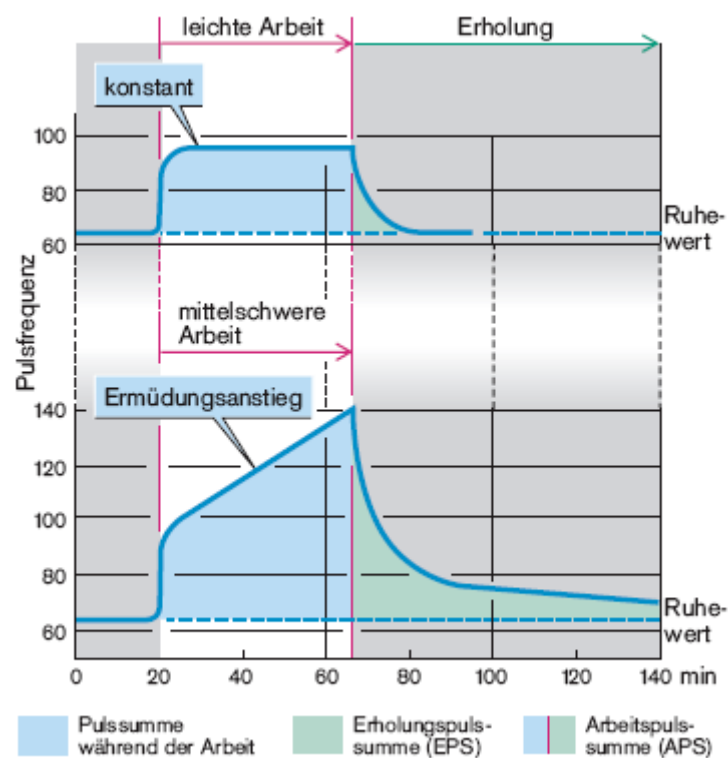


Abbildung 2: Herzfrequenz bei körperlicher Arbeit (90)

Nach einem anfänglichen Anstieg erreicht die Frequenz bei leichter bis mittlerer Arbeit einen neuen konstanten Wert, ein Zeichen der Anpassung des Kreislaufsystems an die neuen Erfordernisse der Muskulatur. Dieses neue Gleichgewicht, oder auch steady state genannt, kann für mehrere Stunden (Arbeitstag) aufrechterhalten werden (5). Wichtig ist dabei, dass die Herzfrequenz nicht über 130 Schläge pro Minute ansteigt (90).

Anders verhält sich der HF Anstieg bei mittelschwerer bis schwerer Belastung. Hier steigt die Hf kontinuierlich an, was als Ermüdungsanstieg bezeichnet wird (90). Dies gilt als Zeichen, dass körperliche Arbeit oberhalb der Dauerleistungsgrenze verrichtet wird und mitunter ein Leistungsabbruch zu erwarten ist. Nur im Bereich unterhalb dieser Grenze kann man eine Leistung dauerhaft aufrechterhalten (=Steady State) (5).

Die Erholung unterscheidet sich je nach Intensität der Belastung. Bei leichter bis mittelschwerer Arbeit sinkt die HF schneller auf den Ausgangswert zurück als bei der mittelschweren bis schweren Belastung. Dies ist quantitativ messbar mittels der Erholungspulssumme. Diese Summe gibt die Gesamtzahl der Herzschläge an, die nach der Arbeit noch über dem Ruhepulswert liegen (90). Eine sehr einfache Methode, die von Sporttreibenden selbst durchgeführt werden kann.

Körperliche Belastung bewirkt außerdem einen Blutdruckanstieg, der vor allem durch drei Faktoren bedingt ist (4):

- Zunahme des Schlagvolumens und Herzminutenvolumens
- Steigerung des Elastizitätszustandes der arteriellen Gefäße
- Erhöhung des peripheren Widerstandes (Kapillargebiet)

Es ist daher möglich, durch regelmäßiges sportliches Training, am besten durch Ausdauerbelastung, den Blutdruck zu senken (4).

Ein weiterer kompensatorischer Mechanismus, den das Herz-Kreislaufsystem bewirken kann, ist eine Veränderung der Umverteilung des Blutes im Organismus. Mithilfe des vegetativen Nervensystems und des Hormonsystems verringert sich während einer Belastung die Durchblutung der Organe (Hirn ausgenommen) zugunsten der Muskulatur, sodass dieser rund 80% der verfügbaren Blutmenge zur Verfügung stehen (4).

Ebenso wird die Zusammensetzung des im Kreislauf zirkulierenden Blutes durch körperliches Training verändert. Das Blutvolumen nimmt zu, die Hämoglobinmenge und die Pufferkapazität werden erhöht und das humorale Abwehrpotential wird gesteigert (4). Somit steht dem Trainierten mehr Hämoglobin für den Sauerstofftransport zur Verfügung (90). Um einer belastungsbedingten Hyperthermie entgegenzuwirken, sorgt das Herz-Kreislauf-System für einen abgestuften Temperatúrausgleich. Somit übernimmt es im ausgleichenden Wärmetransport eine wichtige Rolle (4).

2.2.2 Lunge und Atmung

Das Atmungssystem hat die Aufgabe, beanspruchte Muskulatur und Organe mit ausreichend Sauerstoff zu versorgen. Ein wichtiger Parameter ist das Atemminutenvolumen (AMV). Das AMV setzt sich zusammen aus dem Atemzugvolumen (AZV) mal der Atemfrequenz (AF) (4).

$$\text{AMV} = \text{AZV} \times \text{AF}$$

Wenn das AMV zunimmt, erhöht sich gleichzeitig die O₂ Aufnahme. Die Atmung kann in submaximalen Bereichen willkürlich gesteuert werden, bei höherer und intensiverer Belastung ist dies nicht mehr möglich (4). Die Sauerstoffaufnahme wird allerdings nicht nur durch die Erhöhung des AMV gesteigert, sondern sie wird durch einige lokale Effekte an der Lunge erleichtert: Die Sympathikusaktivierung bei körperlicher Arbeit führt zu einer Bronchodilatation. Durch die Erhöhung des HZV verstärkt sich der Blutstrom durch die Lunge, wodurch zusätzliche Lungenkapillaren geöffnet werden. Zugleich werden zusätzliche Alveolen durch die tieferen Atemzüge geöffnet. Diese beiden Mechanismen verbessern die Diffusionskapazität der Lunge (90).

Die Sauerstoffaufnahme ist eine wichtige Größe zur Beurteilung des Energieumsatzes und der Leistungsfähigkeit. Die maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V} \text{ O}_2 \text{ max}$) bestimmt man durch eine erschöpfende Belastung. Da sie das Maß der aeroben Kapazität ist, ermöglicht die $\dot{V} \text{ O}_2 \text{ max}$ eine Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit (4). Kommt es zu einer Belastung, steigt die Sauerstoffaufnahme nicht sprunghaft an, sondern benötigt wiederum eine kurze Anpassungsphase von ca. 5 Minuten. Danach wird wie bei der Herzfrequenz bei Belastungen im submaximalen Bereich (unterhalb der Dauerbelastungsgrenze) ein Steady-State erreicht (5).

Abbildung 3 zeigt die Sauerstoffaufnahme unter leichter und schwerer Belastung.

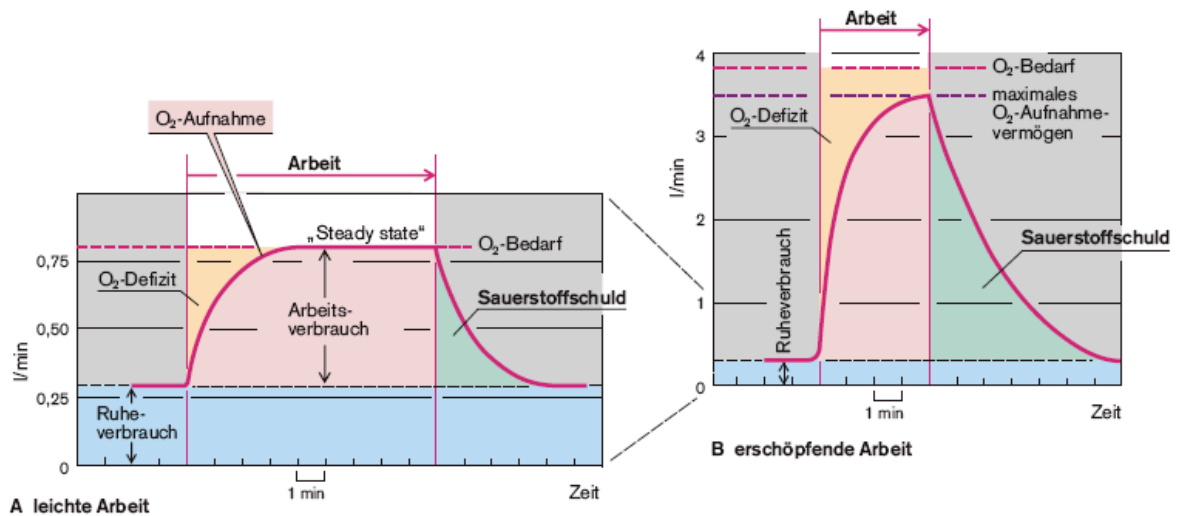


Abbildung 3: Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffbedarf (90)

In diesem Steady State entspricht die aufgenommene Sauerstoffmenge dem Bedarf der oxidativen Prozesse (90). Bei sehr hohen Leistungen zeigt die Dynamik der Sauerstoffaufnahme ein anderes Bild. Es kommt nie zu einem steady state. Der Sauerstoffbedarf ist stets größer als die aufgenommene Menge (90). Weiters kommt es am Beginn der Belastung, egal ob leichte oder schwere Arbeit, zu einem O₂ (Sauerstoff) Defizit, das nach dem Ende der Belastung als Sauerstoffschuld ausgeglichen werden muss. Dabei werden unter O₂ Verbrauch aufgebrauchte Energiespeicher wieder aufgefüllt (5).

Obwohl die Vitalkapazität (VK) keinen Bezug zur körperlichen Leistungsfähigkeit darstellt, wird diese Messgröße trotzdem erwähnt. Die VK nimmt keine konstanten Werte an, sondern ist stark vom Trainingszustand der Atemmuskulatur und den Körperbauproportionen des Individuums abhängig (4).

Anders verhält sich das Atemäquivalent (ÄÄ). Es lässt sich durch Training beeinflussen und beschreibt das Verhältnis zwischen eingeatmeter Luftmenge und O₂ Aufnahme (4).

2.2.3 Energiestoffwechsel

Um genügend Energie während einer körperlichen Belastung bereit zu stellen, verfügt unser Körper über vier verschiedene chemische Energiequellen (90):

- Adenosintriphosphat (ATP)
- Kreatinphosphat (KP)
- Kohlenhydrate
- Fette

Muskelkontraktionen werden direkt durch die chemische Energie des ATP gespeist. Da jedoch wenig ATP-Vorrat in der Muskelzelle vorhanden ist, muss verbrauchtes ATP laufend regeneriert werden (6). Wird in Ruhe das für die Zellfunktionen benötigte ATP aus Kohlenhydraten und Fetten gewonnen, so werden für kurzfristige und intensive Arbeit zuerst die energiereichen Phosphate und danach fast ausschließlich Kohlenhydrate als Energiequelle genutzt (7).

Die energiereichen Phosphate haben eine maßgebliche Bedeutung in der Energiebereitstellung, da sie bei Arbeitsbeginn schnell aktiviert werden können, noch bevor das Herz-Kreislauf-System Sauerstoff und energiereiche Substrate an die Muskelzelle heranbringen kann (90).

Da ATP laufend wieder hergestellt werden muss, stehen der ATP-Regenerierung drei mögliche Wege zur Verfügung (6):

1. Die Spaltung von Kreatinphosphat
2. Die anaerobe Glykolyse
3. Die aerobe Oxidation von Glucose und Fettsäuren

Wie bereits oben erwähnt, ist die Spaltung des KP der schnellste Energielieferant. Die anaerobe Glykolyse setzt erst nach kurzer Zeit ein. Bei diesem Vorgang wird das im Muskel gespeicherte Glykogen zu ATP und Laktat abgebaut. Das anfallende Laktat wird bei leichter Arbeit unter H^+ Verbrauch in Herz und Leber verstoffwechselt. Da diese ATP Regenerierung begrenzt ist, wird diese nach ca. einer Minute vom aeroben Glucose- und Fettsäurenabbau abgelöst. Handelt es sich allerdings um schwere körperliche Arbeit, ist meist der Energiegewinn aus der aeroben Glykolyse nicht effizient genug. Dadurch läuft

die anaerobe Glykolyse parallel dazu weiter. Die dazu benötigte Glucose, wird aus der Leber durch Glykogenolyse und Gluconeogenese bereitgestellt und mit dem Blut zur Muskulatur transportiert (6).

Abbildung 4 zeigt die zeitliche Abfolge der chemischen Energiequellen.

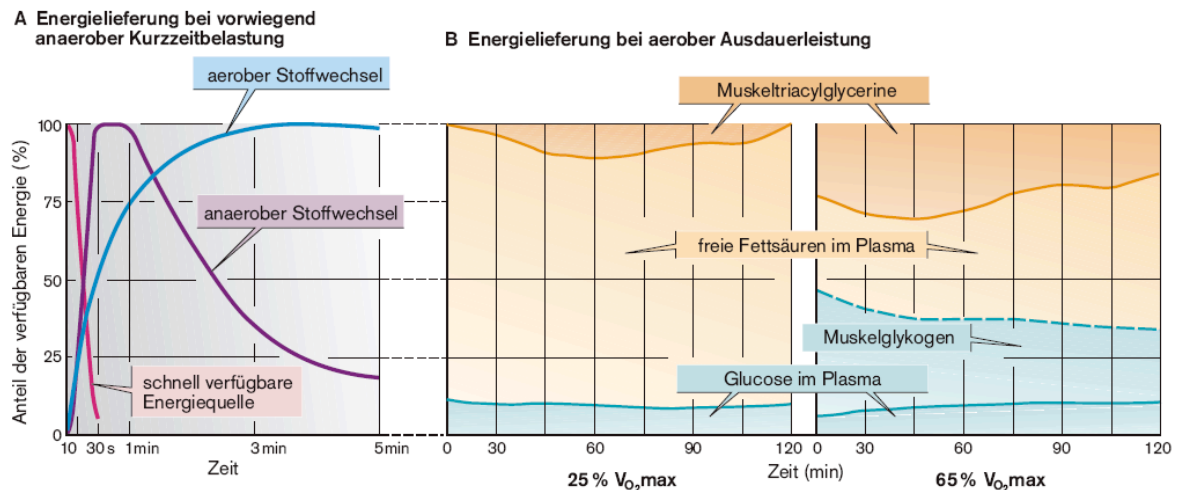


Abbildung 4: Rekrutierung energieliefernder Systeme in der arbeitenden Muskulatur bei verschiedener Dauer und Arbeitsintensität. (8)

Handelt es sich um Dauerleistungen, so ist dies am effektivsten durch aerobe ATP-Regenerierung aus Fetten und Glucose möglich. Um dies zu gewährleisten, muss sich der Körper so lange durch Erhöhung des Herzzeitvolumens und der Ventilation anpassen, bis er den Anforderungen des Muskelstoffwechsels entspricht. Erst dann wird das wie in Kapitel 2.2.1 oder auch 2.2.2 erwähnte Gleichgewicht, oder auch Steady-State der Herzfrequenz und der Sauerstoffaufnahme erreicht (6).

Wird allerdings die Dauerleistungsgrenze (Kap. 2.2.1) überschritten und somit kein Steady-State erreicht, kann nach einer gewissen Zeit der H^+ verbrauchende Laktatabbau nicht mehr Schritt halten und somit häufen sich H^+ Ionen an. Die so genannte anaerobe Schwelle ist definiert als die höchstmögliche Belastungsintensität bei der die Aufrechterhaltung des Gleichgewichtszustandes zwischen Bildung und Abbau von Laktat noch möglich ist. Bei weiterer Belastungssteigerung hemmt die durch übermäßig anfallende H^+ Ionen entstehende Laktatazidose die zur Muskelkontraktion notwendigen chemischen Reaktionen. Der immer größer werdende ATP Mangel führt zu einer raschen Ermüdung und zu einem Abbruch der intensiven Arbeit. Durch regelmäßiges Ausdauertraining ist es möglich, eine Verschiebung dieses Grenzwerts und somit eine Leistungssteigerung zu erreichen (6).

2.2.4 Hormonsystem

Das Wirkspektrum zahlreicher Hormone wird durch körperliche Betätigung verändert. Durch submaximale Belastung werden sie in geringerer Konzentration wirksam, da an den Zielzellen mehr Rezeptoren ausgebildet werden. Das heißt eine geringere Konzentration kann die gleiche Wirkung erbringen. Besonders die Catecholamine, Insulin und Cortisol sind von dieser Anpassungsreaktion positiv betroffen (4).

Die Catecholamine (Adrenalin, Noradrenalin, Dopamin) steigern die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems, den Energieumsatz und die nervale Reaktionsfähigkeit. Durch Training vermindert sich die Stressregulation im submaximalen Belastungsbereich (4).

Die Schilddrüsenhormone (Trijodthyronin, Thyroxin) beeinflussen den Stoffwechsel, die Temperaturregulation, Entwicklung und Wachstum. Da körperliche Ausdauerbelastung eine länger anhaltende Sekretion dieser Hormone bewirkt, wird der Grundumsatz gesteigert und die Sauerstoffaufnahme verbessert. Zusätzlich erhöhen sie durch ihre metabolische Wirkung die körperliche Beanspruchbarkeit, erleichtern die Regeneration und sind wesentlich an den Anpassungsprozessen des Körpers hinsichtlich sportlicher Betätigung beteiligt (4).

Insulin als anaboles Hormon fördert die Aufnahme von Glucose, Aminosäuren und Kalium in Fett- und Muskelgewebe. Gerade für das Muskelgewebe ist dieser Vorgang essentiell, da während körperlicher Betätigung, vermehrt Glucose zur Oxidation bereitgestellt wird. Ausdauertraining senkt den Bedarf an Insulin. Der Skelettmuskel reagiert durch die Adaptation an die Trainingsbelastung empfindlicher auf Insulin. Senkt sich der Spiegel von Insulin, steigt der Spiegel von Glucagon und ermöglicht somit die Aufrechterhaltung der Glucosehomöostase, da Glucagon Glucose aus den Glykogenspeichern freisetzt (4).

Cortisol aktiviert die Proteolyse, Lipolyse und Glycogenolyse und ermöglicht lange sportliche Leistungen. Die immundepressive Wirkung darf allerdings nicht außer Acht gelassen werden. Bei starker Dehydratation kommt es zu einem Anstieg von Aldosteron, damit mehr Flüssigkeit aus der Niere rückresorbiert wird. Bei submaximalen Belastungen werden die Spiegel der beiden Hormone leicht reduziert, bei maximalen Belastungen ist die volle Wirkung der Hormone jedoch sichergestellt (4).

Östrogen und Testosteron sind Hormone mit geschlechtsprägender und metaboler Wirkung. Die Spiegel werden durch normale körperliche Belastung nicht beeinträchtigt. Bei intensiven mehrstündigen Belastungen kann der Bedarf an Testosteron im beanspruchten Gewebe höher sein als die Bildung. So kann es vor allem im Entwicklungsalter junger Mädchen durch hohe psychophysische Beanspruchung zum hypothalamischen Hypogonadismus und somit zu einem Östrogenmangel kommen. Der dadurch veränderte Menstruationszyklus kann bis zur Amenorrhoe führen. Eine erhöhte Osteoporosegefahr ist in diesem Zusammenhang nicht außer Acht zu lassen (4).

2.2.5 Temperaturregulation

Die Kerntemperatur des gesunden Menschen variiert, je nach Tageszeit, zwischen 36,5 und 37,4 Grad Celsius. Bei sportlicher Belastung kommt es durch die erhöhte Wärmeproduktion des Muskels zu einer physiologischen Erhöhung der Körperkerntemperatur. Es gibt für den Organismus vier Möglichkeiten der Wärmeabgabe (4):

- Wärmeleitung (Konduktion)
- Wärmetransport (Konvektion)
- Wärmestrahlung (Radiation)
- Verdunstung (Evaporation)

Mit der Verdunstung des Schweißes können 70-80% der Wärme abgegeben werden. Einer Hyperthermie vorbeugend, ist auf ausreichende Flüssigkeitszufuhr in Form von Wasser oder Elektrolytlösungen zu achten und an eine Belastungsreduktion zu denken (4).

2.2.6 Adaptationserscheinungen der Muskulatur

Nicht bei jeder Sportart verändert sich die Muskulatur in gleichem Ausmaß. Nervale Impulse, die während des sportartspezifischen Bewegungsablaufes auf die Muskelfasern einwirken, entscheiden über die Richtung der funktionellen und morphologischen Anpassung der Muskulatur. Allgemeine Veränderungen betreffen die bessere Kontraktionsgeschwindigkeit, die erhöhte Kraft und die vermehrte Resistenz gegen Ermüdungserscheinungen. Je nach Trainingsmethode kommt es zusätzlich zu einer Vergrößerung der Substratspeicher, zu einer besseren Durchblutung und zu einer

Muskelfaserhypertrophie. Die Anteile der aeroben und anaeroben Arbeitsfähigkeit der Muskeln verändern sich (4).

2.3 *Physiologie des Fetus*

Die Entwicklung des Kindes im Mutterleib lässt sich grundsätzlich in zwei Phasen einteilen (2):

- Embryonalperiode
- Fetalperiode

Die Embryonalperiode umfasst die zweite bis zwölfte Schwangerschaftswoche. In dieser Zeit findet die Organogenese statt, in der sich die einzelnen Organe entwickeln und die ersten Funktionen aufnehmen. In der darauf folgenden Fetalperiode ist der Größenzuwachs vorherrschend. Die Funktionen der Organe differenzieren sich immer mehr und werden leistungsfähiger um ein Leben nach der Geburt und somit nach der Abnabelung zu gewährleisten (2).

Die Schwangerschaft kann ebenfalls in Dritteln eingeteilt werden. Das erste Trimenon umfasst die ersten drei Monate und somit die erste bis zwölfte Schwangerschaftswoche. Das zweite Trimenon umfasst die dreizehnte bis 28. Woche und das dritte Trimenon die 29. bis 40. Schwangerschaftswoche. Dabei ist die Embryonalperiode gleichbedeutend mit dem ersten Trimenon. Als Fetalperiode bezeichnet man das zweite und dritte Trimenon.

Bei Schädigungen im Laufe der Schwangerschaft, ist der Zeitpunkt entscheidend. Kommt es zu einer Störung in der Embryonalperiode so spricht man von einer Embryopathie. Bei Schädigungen in dieser Phase wird die Entwicklung der Organe gehemmt und es kommt zu Fehlbildungen. Man spricht von einer Fetopathie, wenn die Entwicklung und die Funktion des Feten in der Fetalperiode gestört werden (2).

2.3.1 Herz und Kreislauf

Erste Herzaktionen sind bereits ab der fünften Schwangerschaftswoche vorhanden. Beginnt die Herzfrequenz bei rund 65 Schlägen pro Minute, so steigt dieser Wert bis zur Geburt auf

rund 120-160 Schläge pro Minute an. Der Kreislauf bildet sich bis zur elften Schwangerschaftswoche aus (2).

In Abbildung 5 ist der fetale Kreislauf samt seiner Besonderheiten übersichtlich dargestellt.

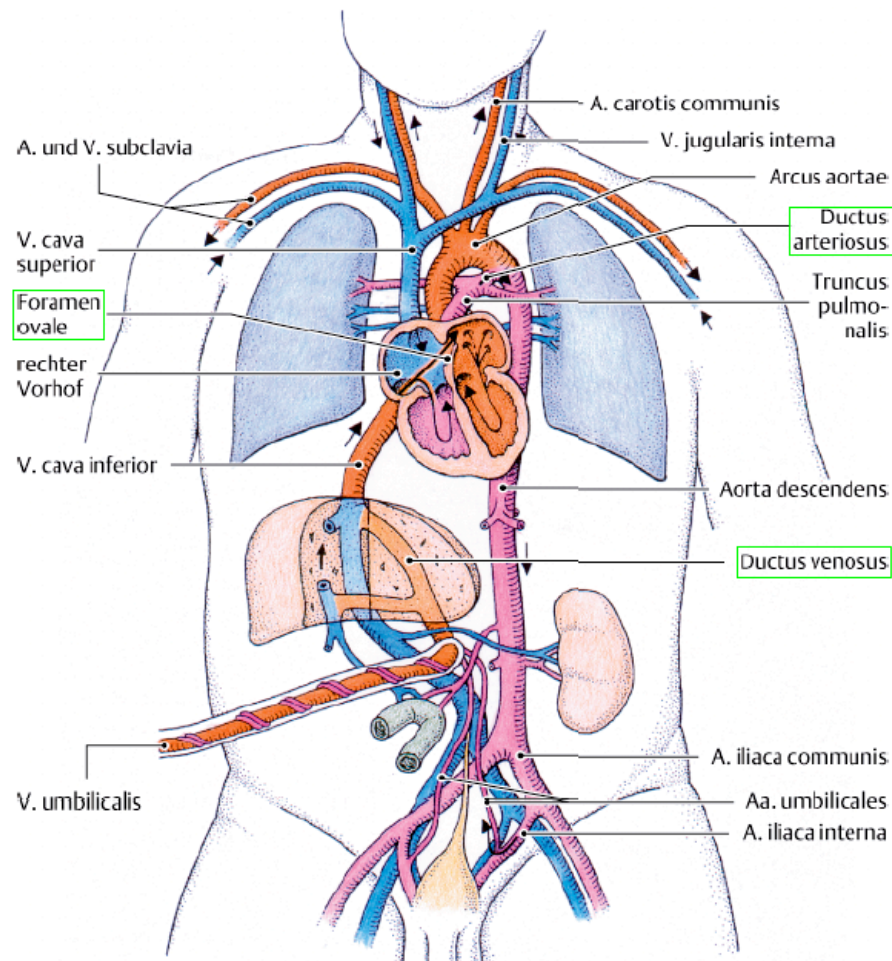


Abbildung 5: Fetalen Kreislauf (9)

Das von der Plazenta kommende sauerstoffreiche Blut fließt über die V.umbilicalis zur Leber. Dabei fließt nicht das gesamte Blut durch die Leber. Hier kommt die erste Besonderheit des fetalen Kreislaufs zum Tragen. Eine Hälfte des Blutes strömt durch die Leber und fließt anschließend in die Vena cava inferior. Die andere Hälfte des Blutes umgeht diesen Weg, indem sie über den Ductus venosus direkt in die Vena cava inferior mündet (2, 9, 9). Somit ist das Blut im oberen Teil der Vena cava inferior sauerstoffreicher als das der Vena cava superior (2). Das Blut erreicht danach den rechten Vorhof. An der Einmündungsstelle der Vena cava befindet sich die Valva venae cavae inferioris, eine Klappe, die das sauerstoffreiche Blut zum offenen Foramen ovale leitet (1.Kurzschluss). Dieser Kurzschluss verbindet rechten mit linkem Vorhof. Von dort gelangt das Blut über

den linken Ventrikel in die Aorta ascendens (9). Etwa die Hälfte des Blutes der Vena cava inferior gelangt durch diese Öffnung in den linken Vorhof. Die andere Hälfte vermischt sich mit dem Blut, das aus der Vena cava superior in den rechten Vorhof strömt. Durch eine Gewebeleiste im rechten Vorhof wird verhindert, dass sich das sauerstoffärmere Blut aus der oberen Hohlvene mit dem sauerstoffreichen Blut aus der unteren Hohlvene zu sehr vermischt. Von der rechten Kammer aus gelangt nur rund ein Zehntel des Blutes über die Lungen in den linken Vorhof. Die anderen neun Zehntel gelangen über den Ductus arteriosus Botalli (2.Kurzschluss) direkt in die Aorta. Damit die obere Körperhälfte das besser oxygenierte Blut erhält, mündet der Ductus arteriosus mit seinem sauerstoffärmeren Blut erst nach dem Abgang des Truncus brachiocephalicus und der linken Arteria carotis communis und der Arteria subclavia in die absteigende Aorta (2). Über die Bauchaorta gelangt das Blut in die Beckenarterien. Von dort gehen die Aa. umbilicales ab und transportieren das Blut wieder zurück in die Plazenta zum Gasaustausch (9). Da das linke und das rechte Herz durch den Ductus arteriosus Botalli parallel geschaltet sind, führen sie ihr gemeinsames Blut über die Aorta in die Nabelarterie. Kommt es zu Sauerstoffmangelzuständen und intrauteriner Azidose, so werden die pulmonalen Gefäße noch mehr gedrosselt um durch einen Anstieg des Minutenvolumens eine schnellere Sauerstoffanreicherung in der Plazenta zu erreichen (10).

Somit wird in der Fetalzeit das Blut beider Herzventrikel primär dem Körperkreislauf zugeführt. Aus diesem Grund bezeichnet man das Zeitvolumen beider Ventrikel zusammen als das fetale Herzzeitvolumen (HZV). Dieses beträgt mindestens 200ml/min pro kg Körpergewicht und ist somit dreimal so hoch wie das HZV des ruhenden Erwachsenen (2).

Der arterielle Blutdruck beläuft sich auf ca. 50-60 mmHg und steigt ab dem dritten Trimenon bis zur Geburt etwas an, da sich in dieser Zeit die vegetative Innervation der Gefäßmuskulatur ausbildet und somit der periphere Widerstand ansteigt. Ab diesem Zeitpunkt beginnt auch die Funktion der Kreislaufreflexe (2).

2.3.2 Lunge und Atmung

Die ersten Atembewegungen treten in der zwölften Woche auf. Diese flachen Atembewegungen bekommen bis zur 34. Woche einen typischen periodischen Verlauf, indem sie ein paar Minuten anhalten und sich mehrmals in der Stunde wiederholen (2). Durch diese anfängliche Atmung gelangt laufend Fruchtwasser in die Alveolen und wird

dort resorbiert, da die Lungen zum Fruchtwasserkreislauf gehören. Dieses in den Lungen vorhandene Fruchtwasser wird unter der Geburt beim Durchtritt durch das kleine Becken aus den oberen Luftwegen gepresst. Weiters wird es nach der Geburt durch pulmonale Lymph- und Blutgefäße abtransportiert (10). Durch diese pränatalen Atembewegungen wird die Lungenentwicklung stimuliert und die Atemmuskulatur konditioniert (11). Das relativ unreife Atemzentrum ist bereits intrauterin funktionsbereit. So kommt es durch starke körperliche Belastung oder beim Beklopfen der mütterlichen Bauchdecke zu Singultusanfällen des Feten, die mehrere Minuten andauern können (10).

Ab der 26. Woche wird Surfactant vom Alveolarepithel produziert. Surfactant ist eine wichtige oberflächenaktive Substanz, die die Oberflächenspannung in den Alveolen herabsetzt damit diese nicht kollabieren. Ein wichtiger Indikator für die Lungenreife ist das Verhältnis der Surfactantfaktoren Phosphatidylcholin (Lecithin) und Sphingomyelin im Fruchtwasser (2).

2.3.3 Hormonsystem

Die meisten Hormone können die Plazenta nicht in ausreichender Menge passieren. Ausgenommen sind die Steroidhormone und die Schilddrüsenhormone (Trijodthyronin und Thyroxin). Somit ist fast das gesamte Hormonsystem des Feten isoliert von der Mutter (2).

Ab der achten Schwangerschaftswoche sind Insulin und Glucagon nachweisbar. Insulin hat die Funktion eines Wachstumshormons. Der Glucosespiegel des Feten wird von der Mutter konstant gehalten. Somit fehlen rasche regulative Änderungen in der Freisetzung dieser Hormone. Beim mütterlichen Diabetes Mellitus kommt es zu einer chronischen Erhöhung des Glucosespiegels und führt somit zu einem erhöhten Insulinspiegel. Dieser bewirkt einen vermehrten Einbau von Glucose und Aminosäuren in den Feten und führt somit zu einer erhöhten Gewichtszunahme (2).

Ab der 10. Schwangerschaftswoche nimmt die Schilddrüse ihre Funktion auf. Ist die Hormonproduktion unzureichend, kann ein Teil durch mütterliche Hormone kompensiert werden (2).

Die Nebenniere und die Plazenta bilden eine Funktionseinheit für den Stoffwechsel und für die Biosynthese der Steroide. Alleinig ihre Zusammenarbeit macht einen kompletten

Steroidstoffwechsel möglich (10). Das Zusammenspiel der fetoplazentaren Einheit (Mutter, Fetus, Plazenta) spielt für den Hormonhaushalt der Mutter und des Feten eine wichtige Rolle. Dabei ist zum Beispiel die Plazenta auf die Anlieferung von Vorstufen der Hormone durch den Fetus angewiesen, für die ihr selbst die Enzyme fehlen (5). So wird Dehydroepiandrosteron vom Feten gebildet, das in der Plazenta zu Östrogen umgewandelt wird und ins mütterliche Blut übertritt. Erst im letzten Trimenon wird in der Nebennierenrinde plazentares Progesteron zu Cortisol umgewandelt. Dieses induziert das Wachstum der vorhin erwähnten Epithelzellen in den Alveolen, die Surfactant produzieren (2).

2.4 Physiologie der Plazenta

Die Plazenta ist das Verbindungsglied zwischen Mutter und Kind. Sie ist verantwortlich für die Austauschprozesse zwischen dem mütterlichen und kindlichen Blut und hat eine enorm wichtige endokrine Funktion (5). Die Plazenta besteht aus Blutgefäßen, Bindegewebe und Zellen des Trophoblasten, die eine wichtige Barriere zwischen den beiden Kreislaufsystemen herstellen (2).

2.4.1 Durchblutung der Plazenta

Man unterscheidet eine mütterliche und eine fetale Plazentadurchblutung. Die mütterliche Plazentadurchblutung beträgt rund 1 ml/min pro g Gewebe. Somit beträgt die Durchblutung am Geburtstermin rund 500 ml/min. Da die Gefäße der Plazenta selbst nicht die Fähigkeit einer Autoregulation besitzen, ist die Durchblutung von jeglicher Blutdruckschwankung der Mutter abhängig. Die Durchblutung sinkt bei Abnahme des Blutdrucks sowie bei Kontraktionen des Uterus, was eine Gefährdung des Kindes darstellen kann (2). Im Vergleich dazu ist die fetale Plazentadurchblutung mit 0,7 ml/min pro g Gewebe geringer. Geht man von einem durchschnittlichen Plazentagewicht am Geburtstermin von etwa 500 Gramm aus, so erhält man eine durchschnittliche Durchblutung von 350 ml/min. Diese Menge stellt nahezu 50% des fetalen HZV dar. Die Gefäße in der Plazenta sind nicht innerviert. Die einzige Möglichkeit sie zu beeinflussen sind Hormone wie Adrenalin oder Prostaglandine. Wird die Nabelschnur komprimiert,

können die Gefäße teilweise und auch ganz abgedrückt werden und die Durchblutung des Feten stören (2).

Nimmt die Durchblutung der Plazenta auf der mütterlichen Seite ab, so verändert sich die Sauerstofftransferrate. Durch diesen Vorgang fällt der Sauerstoffpartialdruck im Fetus ab und die Sauerstoffsättigung des Feten wird gravierend schlechter. Wird der kritische Versorgungsdruck (2 kPa) unterschritten, ist die adäquate Versorgung nicht mehr gegeben. Durch diese Hypoxie erhalten die fetalen Mitochondrien nicht mehr genügend Sauerstoff und es kommt in Folge dessen zur fetalen Bradykardie (verlangsamter Herzschlag). Hält dieser Zustand längere Zeit an, kann es zu einer irreversiblen Schädigung des Gehirns kommen (2).

2.4.2 Stoffaustausch und Hormonproduktion

Der Vollständigkeit halber werden noch kurz die verschiedenen Möglichkeiten des Stofftransports durch die Membranen des Trophoblasten erwähnt. Dabei gibt es vier wichtige Mechanismen (2):

- einfache Diffusion
- passiver Transport der durch Carrier erleichtert wird
- aktiver Transport der durch Carrier vermittelt wird
- Endozytose

Über diese vier Transportmechanismen werden Stoffe wie Sauerstoff, Vitamine, Glucose, Aminosäuren, Proteine, aber auch Pharmaka transportiert, um für das ungeborene Lebewesen eine optimale Versorgung zu ermöglichen. Gleichzeitig werden so auch Stoffe abtransportiert die der Fetus nicht mehr verwerten kann, wie zum Beispiel Kohlendioxid oder auch Lactat (2).

Die Plazenta als agierende Hormondrüse produziert einige wichtige Hormone. In Abbildung 1 ist der Hormonverlauf im Plasma der Schwangeren dargestellt. Gerade am Beginn der Schwangerschaft ist das Human Chorionic Gonadotropin (HCG) das wichtigste Hormon, da es im ersten Trimenon die Funktion des LH übernimmt. Das HCG stimuliert den Gelbkörper und fördert somit die Bildung von zusätzlichen Östrogenen und Progesteronen. Diese beiden Hormone fördern die Umwandlung der Uterusschleimhaut in

die nährstoffreiche Dezidua, die nach dem Einnisten den Embryo in der ersten Zeit versorgt. Ab der zwölften Woche kann die Plazenta selbst schon genügend Progesteron und Östrogen bilden, sodass der Gelbkörper nicht mehr gebraucht wird und sich zurückbildet (2). Das Human Placental Lactogen (HPL) wird ab der zwölften Schwangerschaftswoche gebildet und hat einen wesentlichen Einfluss auf den Metabolismus der Schwangeren. Vor allem der Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel ist dadurch beeinflusst. So werden die maternalen Zellen unter dem Einfluss dieses Hormons unempfindlicher gegenüber Insulin was einen Anstieg des mütterlichen Glucosespiegels bewirkt. Somit steht mehr Glucose zur Verfügung, um eine optimale Versorgung des Feten zu gewährleisten (2).

3 Material und Methoden

Da dieses Thema eine Übersichtsarbeit über die bisher veröffentlichte Literatur zum Thema „sportliche Aktivität in der Schwangerschaft, Auswirkungen auf Fetus und Plazenta“ darstellt, wird die Methode der Literaturrecherche gewählt.

Um fundierte Grundkenntnisse über die physiologischen Aspekte zu vermitteln, werden Bücher der Physiologie (2, 5, 6, 8), der Gynäkologie und Geburtshilfe (3, 9-11) und der Sportmedizin (4, 7, 12) herangezogen. Um sich der physiologischen Gegebenheiten bewusst zu werden, wird auf die Veränderungen in der Schwangerschaft als auch auf die Veränderungen während des Sports eingegangen. Um die Ergebnisse einheitlich und klar zu gestalten, wird auf eine kontinuierliche Gliederung im Einführungsteil geachtet. Im Ergebnisteil werden die verschiedenen Ergebnisse der vorhandenen Studien aufgezeigt und in Tabellen thematisch verglichen. Dabei stammen die Ideen für die Tabelle aus Riemann und Kanstrup Hansen (45). Der Diskussionsteil umfasst die Bewertung und den direkten Vergleich der verschiedenen Studien und ihrer Ergebnisse.

In der Datenbank PubMed werden vor allem englischsprachige als auch deutsche Artikel bis einschließlich dem Jahr 2012 gesucht. Nur ein Artikel ist in deutscher Sprache verfasst, alle anderen in englischer Sprache.

Da sich die Arbeit vor allem mit den Auswirkungen von Sport in der Schwangerschaft auf den Feten und die Plazenta beschäftigt, werden teilweise folgende Limits verwendet: humans, all infant, infant, newborn.

Nach ersten Literatursuchen wird die Einteilung der Arbeit vorgenommen. Insgesamt fließen 89 Literaturstellen in die Arbeit ein. In der Literatursuche werden folgende Stichwörter in verschiedensten Kombinationen verwendet:

- Pregnancy
- Sport
- Exercise
- Fetus
- Placenta

- Physiological adaption
- Birth
- Hyperthermia
- Heart rate
- Growth
- Guidelines
- Pregnancy outcomes

Insgesamt ergeben sich mit den oben genannten Stichwörtern und Limits über 423 Artikel. Nach genauer Inspektion und Durchsicht der Artikel werden fünf nicht deutsche oder englischsprachige Artikel ausgeschlossen. 76 Artikel werden doppelt aufgerufen und 264 Artikel werden mangels eines Bezugs zu dem gewünschten Thema ausgefiltert. Somit fließen insgesamt 78 Artikel in die Arbeit ein, die sich mit den Auswirkungen von körperlicher Aktivität während der Schwangerschaft auf Fetus und Plazenta beschäftigen.

Die gesamte Arbeit enthält samt Bücher und Artikel 90 Literaturstellen.

4 Ergebnisse

4.1 *Herz und Kreislauf*

Betrachtet man die physiologischen Aspekte der Schwangeren und des Feten im Bezug auf sportliche Aktivitäten, kann man einige Hypothesen über die Auswirkung bzw. die Veränderungen auf Mutter und Kind aufstellen (13):

Einerseits könnte man annehmen, dass die uterine Perfusion durch die vermehrte Haut und Muskeldurchblutung beeinträchtigt ist, andererseits könnten durch den Sport Uteruskontraktionen hervorgerufen werden, die ebenfalls zu einer Minderdurchblutung des Uterus führen könnte. Mit der Erhöhung der Körperkerntemperatur besteht die Annahme, dass es durch eine Rechtsverschiebung der Sauerstoffbindungskurve zu einer Verminderung der Sauerstoffversorgung des Feten kommt. Laut Kagan und Kuhn (13) könnten diese Bedingungen zu einer fetalen Mangelversorgung bzw. Hypoxie führen und sich mittels einer Dezeleration im Kardiotokogramm äußern.

In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten Parameter der Herz-Kreislaufsituation des Feten und der Plazenta beschrieben.

4.1.1 **Uteriner und plazentarer Blutfluss**

Es ist bekannt, dass während der sportlichen Aktivität eine Vasokonstriktion und somit ein verminderter Blutfluss in den splanchnischen Organen stattfindet. Dies wiederum passiert zugunsten des Skelettmuskels, des Herzens und der Haut. Durch eine Vasodilatation und einen erhöhten Blutfluss während körperlicher Arbeit wird Muskel und Haut besser durchblutet, damit genügend Sauerstoff und Nährstoffe für die verrichtete Arbeit zur Verfügung stehen (14). Dieser Regulationsmechanismus würde rein theoretisch die Hypothese unterstützen, dass es zu einer Minderversorgung des Uterus kommt und somit auch Fetus und Plazenta davon betroffen wären.

Es gibt zu diesem Thema einige Tierversuche, die alle samt einen verminderten uterinen Blutfluss bei sehr anstrengender, erschöpfender Arbeit aufzeichnen konnten. Einen

interessanten Beitrag lieferte Nesbitt et al. (15). Sie untersuchten den uterinen Blutfluss von trächtigen Hasen während körperlicher Aktivität und kamen zu dem Schluss, dass der trächtige Uterus weniger sensitiv gegenüber den vasokonstriktiv wirkenden Katecholaminen ist als ein nicht trächtiger Uterus. Diese und natürlich weitere Studien am Menschen zeigen, dass es einige Kompensationsmechanismen gibt, um die fetale Oxygenierung während körperlicher Aktivität aufrecht zu erhalten. Clapp et al. (16) verwendete das fetale Erythropoietin als Marker für die fetale Hypoxie. Wird während der gesamten Schwangerschaft regelmäßige, anhaltende, anstrengende Bewegung gemacht, kommt es wider Erwarten zu keiner Steigerung des fetalen Erythropoietinspiegels. Dies lässt darauf schließen, dass der Fetus keiner großen signifikanten Hypoxie trotz körperlicher Bewegung ausgesetzt ist.

Tabelle 1 zeigt die verschiedenen Studien im Vergleich, die den uterinen Blutfluss untersuchten.

Autoren	Sportliche Aktivität / Anzahl der Probandinnen	Intensität / Dauer sportliche Aktivität	Schwangerschaftszeitpunkt	Ergebnisse
Clapp & Ritzk 1992 (18)	Aerobic, Laufen, Schwimmen TG 18 ♀ KG 16 ♀	>50% VO2max 20 Minuten 3x/Wo	16 SSW 20 SSW 24 SSW	- ↑ Placentavol. trainierter ♀ TG 16 SSW: 141 ± 34 ml vs. 106 ± 18 ml 20 SSW: 256 ± 67 ml vs. 186 ± 46 ml 24 SSW: 410 ± 87 ml vs. 270 ± 58 ml
Jackson et al. 1995 (19)	Laufen, Aerobic, Langlaufen TG 40 ♀ KG 20 ♀	>50% von VO2max > 30 Minuten ≥ 3x/Wo	16 SSW 20 SSW 24 SSW	- <u>Training in der FrühSS:</u> ↑ Parenchymvol. der Pl. ↑ Vaskuläres Volumen ↑ villöse Oberfläche - <u>Training in ganzer SS:</u> Histomorphogenetische Veränderung in großen Villis (>80µm), keine Veränderung bei kleinen Villis

Erkkola et al. 1992 (17)	Radfahren 8 ♀	HF ≤ 170/min	35 SSW 38 SSW	- ↑ uteroplazentärer Widerstand - ↓ Blutfluss A.uterina - A.umbilicalis: unveränderter Blutfluss
Rafla et al. 1998 (20)	Radfahren 102 ♀	Rund 67% der sub- max.B. 5 Minuten	25 SSW	- keine Auswirkung auf den uterinen Blutfluss
Ertan et al. 2004 (23)	Radfahren AGA 33 ♀ IUGR 10 ♀	1,25 Watt / kg der Mutter	Keine Angabe	- keine Veränderung uteriner und umbilicaler Blutfluss
Watson et al. 1991 (21)	Radfahren, Schwimmen 13 ♀	VO2max 45 Minuten	25 SSW 35 SSW	- ↑ uteroplazentärer Widerstand u. dadurch ↓ Blutfluss A. uterina - Normaler Fluss in der A. umbilicalis
Jeffreys et al. 2006 (22)	Rückenlage Übungen in Rückenlage 14 ♀	10 min. Intervall: 60 bis 90 Sekunden	29 – 38 SSW	- ↓uteriner Blutfluss > in Ruhe < unter Übungen

Tabelle 1: Uteriner und plazentarer Blutfluss während körperlicher Betätigung

TG = Trainingsgruppe, KG = Kontrollgruppe, HF = Herzfrequenz, AGA = appropriate for age, IUGR = intra uterine growth reduction, SSW = Schwangerschaftswoche, ♀ = Frau, ↓ ↑ = Senkung und Steigerung, > = größer, < = kleiner

Clapp & Ritzk (18) untersuchten in ihrer Studie das Plazentavolumen. Dafür betreuten sie 34 Probandinnen und testeten sie in der 16, 20 und 24 SSW. Die Schwangeren wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. 16 bildeten die Kontrollgruppe, 18 nahmen an dem Trainingsprogramm teil. Dieses bestand aus 3mal wöchentlichem Training mindestens 20 Minuten mit einer Intensität von über 50% der VO2max in Form von Aerobic, Laufen und Schwimmen. Die wesentliche Erkenntnis lag in der eindeutigen Steigerung des Placentavolumens der trainierten Probandinnen. Genauer gesagt, betrug das Volumen bei der ersten Messung in der 16 SSW der Trainingsgruppe 141 ± 34 ml versus der Kontrollgruppe 106 ± 18 ml. In der 18 SSW betrug das Volumen der Trainingsgruppe 256

± 67 ml versus der Kontrollgruppe mit nur 186 ± 46 ml. Schließlich steigerte sich das Volumen in der 24 SSW auf 410 ± 87 ml im Gegensatz dazu in der Kontrollgruppe nur auf 270 ± 58 ml (18).

Jackson et al. (19) konnten zeigen, dass kontinuierliche körperliche Belastung gerade in der Frühschwangerschaft das Plazentawachstum überdurchschnittlich stimuliert. Wurde Sport bis in die Spätschwangerschaft betrieben, so beobachteten sie eine Vergrößerung des Gesamtblutvolumens, das die Plazenta aufnehmen kann. Weiters vermerkten sie eine Vergrößerung der proximalen Oberfläche der Plazenta, die für einen regen Stoffaustausch essentiell ist. Dazu wählten Jackson et al. (19) 60 Probandinnen aus, die zwischen 21 und 40 Jahre alt waren, 45-70 kg wogen, 10-30% Körperfettmasse hatten und sich generell in einem guten allgemeinen Gesundheitszustand befanden. Da auch die Ernährung eine Rolle spielt, wurde darauf geachtet, dass sich die Frauen die gesamte Schwangerschaft hindurch adäquat und balanciert ernährten. Alle 60 Teilnehmerinnen lebten auch vor der Schwangerschaft einen gesunden und aktiven Lebensstil und betrieben regelmäßig Sport für mindestens 6 Monate vor der Empfängnis. Als Kontrollgruppe stoppten 20 dieser Frauen freiwillig ihre kontinuierliche körperliche Betätigung nach der Empfängnis. Die erste Trainingsgruppe bestand aus 20 Frauen, die während ihrer gesamten Schwangerschaft ein Trainingsprogramm von mindestens 3mal die Woche 30 Minuten über 50% ihrer VO₂max durchliefen. Als Sportarten wurde Laufen, Aerobic und Langlaufen ausgewählt. Die zweite Trainingsgruppe bestand wiederum aus weiteren 20 Frauen, die nur in der Frühschwangerschaft das gleiche kontinuierliche Trainingsprogramm durchliefen, aber nach der 20 SSW spontan ihre Trainingsprogramm reduzierten und mit dem Aktivitätsgrad der Kontrollgruppe gleichzogen. Die Verfasser der Studie (19) begannen direkt nach der Geburt mit der Präparation der Plazenten und definierten Stammvilli $> 80 \mu\text{m}$ und periphere/terminale Villi $< 80 \mu\text{m}$. Bei den Untersuchungen stellte sich heraus, dass es durch Training in der Frühschwangerschaft zu einer generellen Stimulierung des Plazentawachstums kommt, wobei der parenchymale Anteil, das totale vaskuläre Volumen und die villöse Oberfläche der Plazenta ansteigen. Im Vergleich dazu kommt es zu einem noch größeren Anstieg der oben genannten Parameter bei sportlicher Betätigung die gesamte Schwangerschaft hindurch. Zusätzlich wurden histologische Veränderungen in den Stammvillis gefunden, in den peripheren/terminalen Villi kam es jedoch zu keiner Veränderung. Zusammenfassend wird nachgewiesen, dass es durch das vermehrte Plazentawachstum zu einer Vermehrung des Blutflusses kommt, der bei der Versorgung

des Feten mit Sauerstoff und Substraten während körperlicher Aktivität für eine entscheidend positive Entwicklung sorgt.

Erkkola et al. (17) untersuchten eine kleine Studiengruppe mit 8 Probandinnen. Die Einschlusskriterien waren ähnlich wie bei den vorherigen Studien. Die Teilnehmerinnen waren gesunde junge, jedoch nicht gut trainierte Frauen in der 35-38 SSW. Sie mussten drei Tests auf dem Fahrradergometer absolvieren, bei dem sie jeweils im submaximalen HF Bereich 4 Minuten lang mit stufenweiser Steigerung der Arbeitsleistung fahren mussten. Die HF sollte die Marke 170 Schläge/Minute nicht übersteigen. Die Messungen der Flussgeschwindigkeit und des Flussprofils in der A.uterina und in der A.umbilicalis wurden mittels des Dopplerultraschalls durchgeführt. Dies erfolgte direkt nach der Belastung bzw. während der Erholungszeit. Die Erkenntnis lag darin, dass es während körperlicher Betätigung zu einer Verringerung der Flussgeschwindigkeit in der A. uterina kommt. Anders jedoch in der A. umbilicalis. Hier kam es zu keiner Veränderung der Flussgeschwindigkeit. Dies würde mit der Studie von Clapp et al. zusammenpassen. Clapp et al. (18) vermuten hinter der Größenveränderung der Plazenta einen Adaptationsmechanismus, wodurch die Versorgung des Feten während körperlicher Aktivität weiterhin gewährleistet werden kann, obwohl es zu einer Verlangsamung des Blutstroms kommt.

Rafla et al. (20) untersuchten bei 102 Probandinnen den Pulsatilen Index der rechten A. uterina vor und nach körperlicher Belastung auf dem Fahrradergometer. Sie kamen zu dem Schluss, dass körperliche Aktivität in der zweiten Schwangerschaftshälfte eine passagere Steigerung des Pulsatilen Indexes in der A. uterina hervorruft. Zusätzlich hatten Raucherinnen einen höheren Pulsatilen Index als Nichtraucherinnen und Erstgebärende niedrigere Widerstandsindizes als Mehrgebärende. Schlussendlich wurde herausgefunden, dass eine 5 minütige sub-maximale Fahrradergometriebelastung keinen schädlichen Effekt auf den mütterlichen uterinen Blutfluss hat und somit die Versorgung des Feten nicht gefährdet ist.

Ertan et al. (23) wollten den Unterschied des Blutflusses zwischen normal großen Babys (AGA = appropriate for gestational age fetuses) und wachstumsverzögerten Babys (IUGR = intra uterine growth restriction fetuses) herausfinden. Dazu testeten sie 33 Frauen mit AGA Feten und 10 Frauen mit IUGR Feten. Beide Frauengruppen mussten einen

Ergometertest mit 1,25 Watt pro Kilogramm der Mutter durchführen. Mittels Doppler wurde der Blutfluss der A. uterina, der A. umbilicalis, der fetalen Aorta und in der fetal A. cerebri media gemessen. Zusätzlich wurde die FHF aufgezeichnet. Als Ergebnis erhielt man keine signifikanten Veränderungen in den umbilicalen oder uterinen Gefäßen, nicht einmal bei den IUGR Feten. Nach der Belastung kam es zu einer Vasodilatation der cerebralen Gefäße und zu einer Zunahme des Widerstandes in der Aorta. Dies ist eine physiologische Veränderung während mütterlicher körperlicher Betätigung, damit die ausreichende Sauerstoffversorgung des Hirns gewährleistet ist. Bei IUGR Feten kam es zu einer verlängerten Vasodilatation im Hirn, da die fetale Oxygenierung in diesen Fällen vermindert ist und eine Verlangsamung der Blutzirkulation einen längeren Austausch ermöglicht.

Es wurden einige Studien mit direkten Messungen des uterinen Blutflusses durchgeführt. Jeffreys et al. (22) verglichen in ihrer Studie bei Schwangeren in der 28. Gestationswoche den uterinen Blutfluss bei ruhigem Liegen auf dem Rücken und bei Bewegungsübungen in Rückenlage. Dafür wählten sie 14 Probandinnen, die gesund und aktiv waren und bereits bis über die 28 SSW hinweg kontinuierlich Bodenübungen durchgeführt hatten. Zusätzlich absolvierten die ausgewählten Frauen 3-6mal in der Woche über mindestens 30 Minuten hinweg andere sportliche Aktivitäten wie Aerobic, Laufen, Kick Boxen, Yoga oder Gewichtstraining. Ein zusätzliches Einschlusskriterium war eine gesunde, bisher problemlos verlaufende Schwangerschaft. Es wurden Bodenbewegungsübungen von 10 minütiger Dauer durchgeführt, die in kurze Sequenzen von 60 bis 90 Sekunden unterteilt wurden. Die Übungen umfassten Bauchübungen und Radfahren mit den Beinen am Rücken liegend. Es wurde dabei mittels Doppler Ultraschall der Blutfluss in der A. Uterina gemessen, die Herzfrequenz des Feten aufgezeichnet und der Blutdruck der werdenden Mutter beobachtet. Dabei konnte eindeutig gezeigt werden, dass es in reiner Rückenlage zu einer größeren Verminderung des uterinen Blutflusses kam als bei Rückenlage mit Bewegungsübungen.

Watson et al. (21) wollten die fetale Antwort auf maximale maternale Belastung erforschen. Dazu engagierten sie 13 schwangere, untrainierte Frauen und ließen diese in der 25 und 35 SSW auf dem Fahrradergometer trainieren und verkabelt schwimmen. Die fetale HF und die Flusskurven der A. uterina und der A. Umbilicalis wurden vor, direkt nach der körperlichen Belastung und in 5 Minuten Intervallen während der Erholungszeit gemessen. Die Ergebnisse der fetalen HF Änderung werden im Kapitel 4.1.3 aufgelistet.

Zu den Ergebnissen betreffend der uterinen Perfusion kann gesagt werden, dass es entsprechend der Arbeit von Erkkola et al. zu einem erhöhten uteroplazentaren Widerstand und somit zu einer Verminderung des Blutflusses in der A. uterina kommt. Die A. Umbilicalis ist davon nicht betroffen.

4.1.2 Hyperthermie

In den Achtziger- und Neunzigerjahren findet man einige Studien zur Hyperthermie am Tiermodell. Daher ist bekannt, dass eine erhöhte Körpertemperatur vor allem im ersten Trimenon mit einer häufigeren Fehlbildungsrate, meist Neuralrohrdefekten, einhergeht (24). Kommt es zu einer Temperaturerhöhung, so steigen der Sauerstoffbedarf, das Herzzeitvolumen und der Stoffwechsel des Ungeborenen im Tiermodell (24). Mit der Annahme, dass körperliche Aktivität die mütterliche und fetale Körpertemperatur erhöht, vermutete man eine ähnliche teratogene Wirkung beim Menschen.

Tabelle 2 zeigt die verschiedenen Studien im Vergleich, die Auswirkungen von Hyperthermie während sportlicher Betätigung auf den Feten untersuchten.

Autoren	Sportliche Aktivität / Anzahl der Probandinnen	Intensität / Dauer sportliche Aktivität	Schwangerschaftszeitpunkt	Ergebnisse
McMurray et al. 1990 (26)	Schwimmen (Wasser 30°C) 12 ♀	HF 132/min 20 Minuten	15 SSW 25 SSW 35 SSW 10 Wochen nach Geburt	- Hitzeansammlung/Hauttemp. in SS ↓ - Schwitzen ↑ - rectale Temp ↑ 0,3°C in SS; 0,1°C post partum
McMurray et al. 1993 (28)	Radfahren (R) im Vergleich mit Schwimmen(S) (Wasser 30°C) 7 ♀	70% der maximalen HF 20 Minuten	25 SSW	- ↑ rectale Temp. R: 0,5 ± 0,1°C S: 0,2 ± 0,1°C - normale Körpertemp. R: ↑ 0,6 ± 0,2 °C S: ↓ -0,3 ± 0,1°C - ↑ norm. KT und Schwitzen R > S

O'Neill et al. 1996 (25)	Radfahren 11 ♀	- <u>Test 1:</u> HF 138/min 15 Minuten - <u>Test 2:</u> HF 156/min 15 Minuten - <u>Test 3:</u> HF 142/min 30 Minuten	34 SSW und 37 SSW	- ↑ Körpertemp. Test 2, 3 > Test 1 - FHF ↑ Test 2, 3 - keine ↑ der mütterlichen Temp. auf > 38°C - keine ↑ der FHF auf kritische Werte
Larrison et al. 2005 (29)	Aerobic Ausdauertrainig TG 40 ♀ KG 11 ♀	70% der max. HF 30-45 Minuten	25 – 26 SSW	- kein ↑ der Temp. über 38,1°C - ↑ Temp. KG > TG - ↓ Temp. TG mit SS- Fortschritt
Clapp et al. 1991 (27)	Laufen Aerobic Radfahren 18♀	64% von VO2max 20 Minuten	Vor der SS Jede 6 - 8 SSW	- ↓ der Temp. um 0,3°C bis zur 8 SSW - ↓ der Temp. um 0,1°C von 8 SSW bis Ende der SS
Lindqvist et al. 2003 (30)	Radfahren 14 ♀	85% der max. HF	vor der SS 5 mal in der SS	- ↓ der Temp. von 37,8°C auf 36,9°C

Tabelle 2: Fetale Effekte auf eine gesteigerte maternale Temperatur während körperlicher Belastung

TG = Trainingsgruppe, KG = Kontrollgruppe, HF = Herzfrequenz, SSW = Schwangerschaftswoche, ♀ = Frau, ↓ ↑ = Senkung und Steigerung, > = größer, < = kleiner

McMurray et al. (26) untersuchte das Körpertemperaturverhalten von 12 Probandinnen im 30°C warmen Wasser. Die jungen, gesunden Frauen wurden in der 15., 25. und 35.SSW und 10 bis 12 Wochen nach der Geburt getestet. Somit konnte ein Vergleich zwischen schwangeren und nicht schwangeren Frauen hergestellt werden. Die Aufgabe für die erste Testung beinhaltete rein das Eintauchen in das warme Wasser. Dabei wurden kurz vor und nach dem Eintauchen die rektale Körpertemperatur und die Hauttemperatur gemessen. Weiters wurde die Verdunstung und die Wärmespeicherkapazität gemessen. Als zweiten Test mussten die Frauen 20 Minuten lange mit einer durchschnittlichen Herzfrequenz von 132 Schlägen pro Minute im Wasser schwimmen. Es stellte sich heraus, dass es keinen großen Unterschied zwischen Ruhen im Wasser und zusätzlicher körperlicher Aktivität im Wasser gibt. Dies gilt vor allem für die Messungen während der Schwangerschaft. Wenn

man dazu die Werte der Probandinnen vergleicht, die 10 Wochen zuvor ihr Kind auf die Welt gebracht hatten, so kommt man zu dem Schluss, dass die Schwangerschaft die Wärmespeicher reduziert, die Hauttemperatur senkt und der Hitzeverlust durch die erhöhte Verdunstung gesteigert wird. Zusätzlich wurde auch ein Anstieg der rektalen Temperatur auf $0,3^{\circ}\text{C}$ gefunden. Zusammenfassend ist zu sagen, dass es anscheinend Veränderungen in der Thermoregulation während der Schwangerschaft gibt. Einerseits wird vermehrt Wärme produziert, andererseits gibt es dafür Kompensationsmechanismen, die den Feten vor zu großer Hitzeeinwirkung schützen.

Um die Thermoregulationsantworten verschiedener Umstände festzuhalten, untersuchten McMurray et al. (28) sieben junge schwangere Frauen in der 25.SSW. Dazu mussten die Probandinnen zuerst an Land 20 Minuten auf einem Fahrradergometer mit rund 70% ihrer maximalen HF trainieren und danach zum Vergleich die gleiche Einheit im 30°C warmen Wasser absolvieren. Gemessen wurde unter anderem die rektale Temperatur. Diese stieg während der Landeinheit auf $0,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ an. Während der Wassereinheit stieg die Temperatur allerdings nur um $0,2 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ an. Die normale Körpertemperatur stieg an Land um $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, fiel jedoch im Wasser um $-0,3 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Somit bewirkt körperliche Bewegung an Land eine größere Wärmespeicherung und Schweißverlust als Bewegung im Wasser. Das wesentliche Ergebnis dieser Studie war, dass eine relative Temperaturbalance während der 20 minütigen Bewegung im sub-maximalen HF Bereich (um die 70%) erreicht wird. Nach dieser Studie können junge, gesunde, durchschnittlich fitte Frauen an einem moderaten Trainingsprogramm ohne Bedenken teilnehmen.

O'Neill (25) wählte in seiner Studie 11 gesunde Frauen aus, die allesamt Nichtraucherinnen waren und unkomplizierte Schwangerschaften bis dato vorweisen konnten. Die einzelnen Fitnesslevels der Probandinnen variierten stark untereinander. Vier galten als trainiert, fünf als untrainiert und zwei waren weder wirklich im Training, noch ganz unспортlich. Die Frauen wurden von der 34. bis zur 37.SSW getestet. Die Testung verlief in drei Teilen. Test 1 bestand aus einer 15 minütigen Ergometerfahrt mit 62,5 Watt wobei die durchschnittlichen HF 138 Schlägen pro Minute betrug. Nach einer einstündigen Pause wurde der Test fortgesetzt. Test 2 bestand aus einer erneuten 15 minütigen Fahrt auf dem Ergometer, wobei 87,5 Watt als Zielwert festgelegt wurde. Die Durchschnittliche HF aller Frauen betrug bei diesem Test rund 156 Schläge pro Minute. Am darauf folgenden Tag wurde Test 3 durchgeführt. Bei diesem mussten die Probandinnen 30 Minuten am

Ergometer mit 62,5 Watt fahren. Die durchschnittliche HF betrug dabei bei allen Frauen 142 Schläge pro Minute. Die mütterliche HF wurde immer in den letzten 30 Sekunden der Testfahrt und während der Erholungsphasen aufgezeichnet. Die rektale Temperatur wurde kurz vor und nach dem Radfahren aufgezeichnet. Die rektale Temperaturmessung wurde deswegen ausgewählt, weil man die Veränderungen der Körperkerntemperatur möglichst nahe am Fetus messen wollte. Zusätzlich wurde auch die fetale HF mittels eines Cardiotokogramms gemessen. Das wesentliche Ergebnis dieser Studie war, dass der Anstieg der rektalen Temperatur von der Intensität und Dauer der körperlichen Aktivität abhängt. Die Körperkerntemperatur stieg bei Test 2 und 3 ($0,4^{\circ}\text{C}$) mehr als bei Test 1 ($0,2^{\circ}\text{C}$). Die fetale HF stieg nur unter Test 2 und 3 signifikant. Doch keiner der durchgeführten Tests führte zu einer nachteiligen fetalen HF Veränderung (verminderte Akzelerationen, Dezelerationen). Weiters stieg die Körperkerntemperatur unter keinem Test über die 38°C Marke.

Larsson et al. (29) untersuchten in Schweden 40 Frauen im Alter von rund 30 Jahren. Alle befanden sich während der Testung ungefähr in der 25. bis 26.SSW. Zusätzlich wurden als Kontrollgruppe 11 Frauen ausgewählt, die allerdings nicht schwanger waren. Jede Trainingseinheit bestand aus Konditionstraining und Übungen, die die Frauen während der Testung durchführten. Diese wurden speziell ausgesucht und für Schwangere modifiziert. Gemessen wurden die Sauerstoffsättigung und die Herzfrequenz mittels eines Pulsoxymeters und die Körpertemperatur im Ohr mittels eines Fieberthermometers. Die Messungen erfolgten vor der Trainingseinheit und 30 bis 45 Minuten nach Trainingsbeginn. Im Anschluss daran folgten HF steigernde Übungen. Die letzte Messung erfolgte nach dem Stretchen und Ausruhen. Als Ergebnis der Messungen stellte sich heraus, dass es weder in der Trainingsgruppe noch in der Kontrollgruppe zu einem gefährlichen Temperaturanstieg kam. Die höchste aufgezeichnete Temperatur betrug $38,1^{\circ}\text{C}$. Vergleicht man Trainingsgruppe mit Kontrollgruppe, so kam es bei der Trainingsgruppe kaum zu einem Anstieg der Körperkerntemperatur. Die Kontrollgruppe zeigte einen signifikanten Anstieg der Körperkerntemperatur. Zusätzlich kam es in der Trainingsgruppe zu einem Abfall der Körperkerntemperatur je weiter die Schwangerschaft fortgeschritten war. Durch einen Fragebogen wurden auch die Trainingsgewohnheiten und das Befinden der Teilnehmerinnen abgefragt. In dieser Studie reduzierten rund 51% der Schwangeren ihre Trainingsgewohnheiten, sobald sie wussten, dass sie schwanger waren. 37% der Teilnehmerinnen führten ihre Trainingsgewohnheiten fort und 12% steigerten

diese sogar in der Schwangerschaft. Zusätzlich fanden rund 71% der Probandinnen, dass das Trainingsprogramm während der Messungen von geringerer Intensität war als das Trainingsprogramm, das die Frauen vor ihrer Schwangerschaft ausführten. 22% fanden, dass das Programm ungefähr den gleichen Intensitätslevel hatte und nur 7% empfanden die Intensität höher als ihr bisheriges Trainingsprogramm. Larsson et al. (29) kamen zu dem Schluss, dass sanftes Training mit rund 70% der maximalen HF keine Gefahr der Hyperthermie mit sich bringt.

Clapp et al. (27) untersuchten die Hypothese, dass die Antwort auf thermische Reize in der Schwangerschaft durch Adaptationsmechanismen verändert sind. Dazu testeten sie 18 Frauen im Alter von 27 bis 34 Jahren. Alle befanden sich in einem ausgezeichneten Gesundheitszustand, betrieben regelmäßig Sport und hatten dadurch eine gute Grundkondition. Die Probandinnen konnten ihre Sportart selbst auswählen: acht Frauen wählten Laufen, sieben machten Aerobic und drei wählten Radfahren. Zusätzlich waren die Schwangerschaften alle Einlingsschwangerschaften und klinisch unauffällig. Um einen Vergleich herzustellen wurde die erste Messung schon vor dem Eintreten der Schwangerschaft durchgeführt. Zusätzlich wurde auch die Häufigkeit der sportlichen Aktivität vor und während der Schwangerschaft aufgezeichnet um Vergleiche zu erhalten. Interessant war, dass die Trainingshäufigkeit nur leicht auf rund $85\% \pm 8\%$ trotz Schwangerschaft absank. Die Messungen erfolgten vor der Schwangerschaft und danach alle 6 bis 8 Wochen während der Schwangerschaft. Beobachtet wurden die rektale Temperatur und der Sauerstoffverbrauch 10 Minuten vor der Belastung, während der 20 minütigen Belastung und in der 10 minütigen Erholungsphase. Die ungefähre Intensität variierte kaum zwischen den verschiedenen Messungen und betrug rund 61% - 64% der VO_{2max} über die sechs Studienprotokolle hinweg. Die Ergebnisse waren durchwegs interessant. Der vor der Schwangerschaft erreichte Spitzenwert der rektalen Temperatur sank bereits nach 8 Wochen Schwangerschaft um $0,3^{\circ}C$. Jeden weiteren Monat sank der Wert um weitere $0,1^{\circ}C$ bis zur 37 SSW. Dies scheint in den Veränderungen der Ruhetemperatur, des Schweißproduktionsschwellenwertes und der venösen Kapazität begründet zu sein. Zusätzlich trägt auch die Gewichtszunahme während der Schwangerschaft zu diesem Ergebnis bei. Durch das vermehrte Gewicht hat der Körper mehr Masse zur Verfügung, die er „aufheizen“ muss. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass jeder thermale Stress der auf den Feten einwirken könnte durch die physiologischen Adaptationen der Mutter reduziert wird.

Lindqvist et al.(30) untersuchten die Auswirkungen von thermalem Stress in der Schwangerschaft. Dazu testeten sie 14 Frauen vor, fünf mal während und zweimal nach der Schwangerschaft. Das festgelegte Studiendesign umfasste jeweils einen submaximalen Fahrradergometrietest mit einer Ziel HF von 85% der altersentsprechenden maximalen HF. Das Ergebnis war ähnlich wie schon bei vorherigen Studien. Die Temperatur bei submaximaler Belastung sank kontinuierlich von 37,8°C vor der Schwangerschaft bis 36,9°C kurz nach der Schwangerschaft. Die Ausgangstemperatur wurde 24 Wochen nach der Schwangerschaft wieder erreicht. Das Fazit dieser Studie war, dass submaximale Belastungen keine schädliche Wirkung für den Feten darstellen. Vielmehr gibt es anscheinend Kompensationsmechanismen, die das Ungeborene schützen.

4.1.3 Fetale Herzfrequenz

Die normale fetale Herzfrequenz (FHF) beläuft sich zwischen 120 und 160 Schlägen pro Minute (2). Definitionsgemäß gibt es Akzelerationen und Dezelerationen. Erstere werden mit einer fetalen Tachykardie über 160 Schläge pro Minute definiert. Dies kann im Rahmen einer leichten fetalen Hypoxie oder im Erholungszustand nach der Hypoxie auftreten. Dezelerationen, das heißt eine fetale Bradykardie mit einer HF von unter 120 Schlägen pro Minute, sind immer ein Hinweis auf eine akute fetale Hypoxie.

Die schon vorab erwähnte Annahme, dass sich während des Sports die Durchblutung weg von den splanchnischen Organen hin zur Skelettmuskulatur verlagert, legt die Vermutung nahe, dass es zu einer Minderversorgung des Uterus und somit des Ungeborenen kommt und dies sich mit einer Veränderung der fetalen Herzfrequenz zeigen könnte.

Tabelle 3 zeigt die verschiedenen Studien im Vergleich, die sich mit der Auswirkung von Sport auf die fetale Herzfrequenz beschäftigten.

Autoren	Sportliche Aktivität / Anzahl der Probandinnen	Intensität / Dauer sportliche Aktivität	Schwangerschaftszeitpunkt	Ergebnisse
Katz et al. 1990 (41)	Radfahren an Land und im Wasser 7♀	70% VO2max	25 SSW	-↓ maternale HF im Wasser - FHF ↑ an Land als im Wasser
Clapp et al. 1993 (31)	Verschiedene Sportarten 120 ♀	≤ 70% VO2max 20 Minuten	16 SSW - 39 SSW	- ↑ FHF 15 ± 11 bpm bei 60 ± 12% VO2max
Webb et al. 1994 (32)	Radfahren 22♀ TG 16♀ KG	70% VO2max HF 145 bpm 25 Minuten 3x / Woche	Zweites und drittes Trimenon	- ↑ FHF 3 – 7 bpm - CTG: normal - kein Unterschied in Länge und Geburtsgewicht der Feten bei TG und KG - gleiche FHF Antwort in beiden Gruppen - TG ↑ Arbeitsleistung bei selber Intensität
Collings et al. 1983 (39)	Aerobic 12 ♀ TG 8 ♀ KG	Sub-maximale Belastung	2 Trimenon 3 Trimenon	- TG 18% ↑, KG 4%↓ der aeroben Kapazität - ↑ FHF
Collings et al. 1985 (40)	Exercise 25 ♀	61% - 73% VO2max		- ↑ FHF nach maternalen Belastung - kein Zusammenhang Gestationsalter - FHF Antwort
Van Doorn et al. 1992 (33)	Radfahren 33♀	75% VO2max	16 SSW 25 SSW 35 SSW 7 Wochen post partum	- ↑ der FHF um 4 bpm

Brenner et al. 1999 (38)	Radfahren 14 ♀ TG 6 ♀ KG	HF 145 bpm 14-25 min zweites T. 25 min drittes T.	27 SSW 37 SSW	- ↑ der FHF - keine Veränderung FHF Antwort durch kontinuierliches mütterliches Training
Manders et al. 1997 (37)	Radfahren 12 ♀	50 Watt ↑ um 25 Watt / 5min bis max. Belastung Dauer rund 20 min.	30 SSW	- ↑ FHF für 30 min nach Belastung - ↓ HRV für 20 min - ↓ Kindsbewegungen für 5 min nach Belastung - 2mal ↓ der FHF bei maximaler Belastung
MacPhail et al. 2000 (36)	Radfahren 23 ♀	20 Watt für 4 min. danach ↑ 20 Watt/min.	31 – 38 SSW	- ↑ der Grundlinie der FHF - ↓ der Akzelerationen
Carpenter et al. 1988 (34)	Radfahren 45 ♀	1) 70% der VO2max 2) VO2max	25 SSW	- keine Veränderung FHF bei submax. B. - ↓ der HF v.a. nach maximaler Belastung
Watson et al. 1991 (21)	Radfahren, Schwimmen 13 ♀	VO2max 45 Minuten	25 SSW 35 SSW	- ↓ FHF 30 bpm in 15% der Fälle, Dauer < 2 min. - ↑ uteroplazentärer Widerstand u. dadurch ↓ Blutfluss - Normaler Fluss in der A. Umbilicalis
May et al. 2010 (35)	Theoretischer Vergleich 26 ♀ TG 35 ♀ KG	> 30min Aerobic 3 x /Woche	28 SSW 32 SSW 36 SSW	- ↓ der FHF und ↑ der fetalen HRV durch Trainingseffekt

Tabelle 3: Fetale Herzfrequenz während körperlicher Belastung

TG = Trainingsgruppe, KG = Kontrollgruppe, HF = Herzfrequenz, FHF = fetale Herzfrequenz, bpm= beats per minute, SSW = Schwangerschaftswoche, HRV = Herzratenvariabilität, VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme, ♀ = Frau, ↓ ↑ = Senkung und Steigerung, > = größer, < = kleiner

Katz et al. (41) testeten den Unterschied zwischen körperlicher Betätigung an Land und im Wasser. Dazu engagierten sie 7 junge, aktive Frauen und führten in der 25.SSW Messungen durch. Am ersten Testtag mussten sie einen Test mit einer Belastung von 70% der VO₂max am Fahrradergometer an Land durchführen. Am zweiten Testtag das gleiche nur diesmal im Wasser. Dabei stellten die Forscher fest, dass die Frauen im Wasser eine signifikant niedrigere HF und einen niedrigeren systolischen Blutdruck aufwiesen als an Land. Die FHF zeigte eine Tendenz Richtung höherer Werte an Land als im Wasser. Sechs von sieben Feten zeigten eine leichte Tachykardie nach der Belastung an Land, wobei nur eine von sieben dies im Wasser zeigte. Somit stellte man in dieser Studie fest, dass Bewegung im Wasser einige physiologische Vorteile bringt.

Clapp et al. (31) wollten die Hypothese belegen, dass die FHF während und nach körperlicher Belastung ansteigt und die Größe des Anstiegs von dem Gestationsalter, der Dauer, der Intensität und von der Art der Belastung abhängig ist. 120 gesunde und aktive Frauen wurden dahingehend getestet. Die Probandinnen hatten zu Beginn der Studie alle eine komplikationslose, normale Schwangerschaft. Entscheidend für die Studie war, dass die Frauen schon vor der Schwangerschaft genügend Sport betrieben. Sie wurden während und nach ihren 20 minütigen Routinetrainings monitiert und beobachtet. Die Messungen fanden zwischen der 16. und 39.SSW statt. Das Ergebnis war wie erwartet. In 97% der gemessenen Fälle kam es zu einem Anstieg der FHF während und nach der Belastung. Dieses Ergebnis war mit einer Erhöhung von rund 15 ± 11 Schlägen pro Minute signifikant für jedes Gestationsalter und für jede ausgeführte Sportart bei einer maximalen aeroben Kapazität der Probandinnen von $60\% \pm 12\%$. Zusammenfassend war die anfangs gestellte Hypothese korrekt. Diese Veränderung könnte als Reaktion des Feten auf die Verringerung des PO₂ während körperlicher Belastung entstehen.

Das gleiche Interesse zeigten Webb et al. (32) bei ihrer Studie mit 22 Frauen. Zusätzlich gab es eine Kontrollgruppe mit weiteren 16 allerdings nicht sporttreibenden Damen. Die Aufgabe war 3mal in der Woche 25 Minuten lang mit einer Zielherzfrequenz von 145 Schlägen pro Minute Ergometer zu fahren. Der Testzeitpunkt wurde jeweils am Ende des zweiten und dritten Trimenons gewählt. Die FHF wurde vor, während und nach der Belastung beobachtet. Schließlich kam man zu dem Schluss, dass es zu einer Steigerung der FHF in beiden Gruppen kam und dass die Feten eine normale Variabilität und Reaktivität zeigten. In drei einzelnen Fällen kam es zu einer fetalen Bradykardie. Da diese

erst nach der Belastung auftraten, wurde festgestellt, dass die Zeit nach der Belastung am gefährlichsten für eine Bradykardie ist. Weiters ergaben die Ergebnisse der Studie, dass Frauen, die schon vor der Schwangerschaft sportlich aktiv waren, höher belastbar sind im Vergleich zu vorher unsportlichen Frauen, ohne dabei dem ungeborenen Kind einen hypoxischen Stress zuzufügen.

Collings et al. (39) untersuchten ebenfalls die Auswirkungen von sportlicher Aktivität während der Schwangerschaft auf den Fetus. Dazu testeten sie 20 Frauen im zweiten und dritten Trimenon. Zwölf der Frauen bildeten eine Trainingsgruppe und nahmen an einem regelmäßigen Aerobic Programm teil, während die anderen acht Frauen nicht regelmäßig Sport trieben und die Kontrollgruppe bildeten. Auf der Basis von submaximalen Belastungen wurde eine Verbesserung der aeroben Kapazität der Mutter um 18% in der Trainingsgruppe erreicht. In der Kontrollgruppe kam es zu einer Verschlechterung der aeroben Kapazität um 4%. Festgestellt wurde ein kleiner jedoch signifikanter Anstieg der FHF während der Belastung. Ein Vergleich des Schwangerschaftsoutcome zeigte kaum Unterschiede zwischen den zwei Gruppen, was die Geburtsdauer, die APGAR Scores und die fetale Größe betrifft.

Collings et al. (40) verfassten zwei Jahre nach ihrer ersten Studie zu diesem Thema eine zweite Studie. Sie wollten dabei den Einfluss vom Gestationsalter auf die fetale HF erproben. Dabei testeten sie 25 Frauen mit unkomplizierten Schwangerschaften. Die Teilnehmerinnen mussten ein Trainingsprogramm mit einer relativen Intensität von ca. 61% - 73% der maximalen Kapazität absolvieren. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten fetale Akzelerationen nach mütterlicher Belastung. Trotzdem fanden sie keine Korrelation zwischen Gestationsalter und der FHF. Zusammenfassend stellten sie fest, dass körperliche Belastungen der Mutter bis zu 70% der maximalen Leistungsfähigkeit mit normalem fetalen Größenwachstum und Entwicklung einhergeht.

Die kardiovaskulären Reaktionen auf anstrengende Belastungen untersuchten Van Doorn et al. (33) in ihrer Studie. Dazu testeten sie 33 gesunde Frauen während und nach der Schwangerschaft. Die Probandinnen mussten sich einem Ergometertest mit rund 75% der VO₂max unterziehen. Nach diesem Test war die FHF im Schnitt um 4 Schläge pro Minute erhöht. Weiters kam es in 12% der Fälle zu einer ST-Senkung im EKG der Teilnehmerinnen, eine ischämische Klinik wurde dazu nicht wahrgenommen. Die durchgeführten Blutdruckmessungen führten zu dem Schluss, dass er sich trotz relativ

hoher zusätzlicher Belastung (75% VO₂max) in der Schwangerschaft nahezu nicht beeinflussen lässt. Das zusätzlich angelegte CTG zeigte in 6% der Fälle eine gesteigerte uterine Aktivität nach der anstrengenden Belastung. Diese Ergebnisse unterstützen die Ansicht, dass sportliche Belastungen mit begrenzter Dauer keine negativen Auswirkungen für Mutter und Kind haben.

Brenner et al. (38) testeten für ihre Überlegungen insgesamt 20 gesunde Schwangere. 14 nahmen in der Trainingsgruppe teil, sechs in der Kontrollgruppe. Die Trainingsgruppe musste ein Trainingsprogramm mit dem Fahrradergometer durchlaufen, das 3mal in der Woche mit der Zielherzfrequenz von 145 Schlägen pro Minute stattfand. Im zweiten Trimenon wurde die Trainingszeit von 14 Minuten kontinuierlich auf 25 Minuten gesteigert. Im dritten Trimenon war jede Trainingseinheit mit 25 Minuten festgelegt. Zwei Messungen der FHF wurden in der 27.SSW und in der 37.SSW durchgeführt. Dabei mussten beide Gruppen zweimal einen submaximalen Fahrradergometertest (Spitzenherzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute) durchführen. Die Messungen ergaben eine Steigerung der FHF. Darauf folgte eine kurze Depression der Kurve, die aber nach kurzer Zeit wieder zu einer normalen FHF führte. Es konnten keine fetalen Bradykardien aufgezeichnet werden. Mit fortgeschrittenem Gestationsalter kam es zu einer Erniedrigung der Grundlinie der FHF und zu einer geringeren Inzidenz von bewegungsinduzierten Tachykardien. Es konnte keine signifikante Änderung der FHF durch mütterliches kontinuierliches Training gezeigt werden. Laut dieser Studie bedeutet ein kurz andauernder Test mit einer maternalen HF von 170 Schlägen pro Minute keinen Stress für den Feten in einer gesunden Schwangerschaft.

Manders et al. (37) konsolidierten 12 gesunde Frauen in der 30.SSW mit unkomplizierter Schwangerschaft. Keine von ihnen war eine gut konditionierte Sportlerin. Es wurden zwei Tests durchgeführt. Dabei gab es einen Kontrolltag an dem nur die Ruhewerte gemessen wurden und einen wirklichen Experimenttag, an dem Messungen am Fahrradergometer durchgeführt wurden. Am Experimenttag wurden zuerst für eine Stunde die maternale HF, die FHF und die fetal HRV gemessen. Danach begann die Messung am Ergometer mit einer Anfangsleistung von 50 Watt. Im Testverlauf wurde die Wattanzahl jeweils um 25 Watt pro fünf Minuten gesteigert. Dies erfolgte so lange, bis die Frauen selbst entschieden, wann sie sich ihres Erachtens ausbelastet hatten. Diese Maximalleistung wurde von den meisten noch weitere fünf Minuten ausgehalten. Als Ergebnis erhielt man eine signifikante

Steigerung der FHF in den ersten 30 Minuten nach der Belastung. Die fetale HRV war in den ersten 20 Minuten nach der Belastung vermindert. Zusätzliche waren die Kindsbewegungen in den ersten 5 Minuten nach der Belastung verringert. Danach wurden keine Abweichungen vom Normalzustand festgestellt. Bei den fetalen Atembewegungen wurden keine signifikanten Veränderungen gefunden. Es kam bei zwei Feten zu einer kurz andauernden, vorübergehenden Bradykardie, die sich aber nach 5 Minuten wieder normalisiert hatte. Es konnte ein Zusammenhang zwischen moderater Belastung und Steigerung der FHF und einer Senkung der FHF mit weiterer Steigerung der Belastung hergestellt werden. Zusammenfassend konnten die Verfasser dieser Studie nachweisen, dass hohe Belastungen Auswirkungen auf den menschlichen Fetus haben. Die Auswirkungen hängen allerdings stark vom Intensitätslevel der Belastung ab. Es wird somit von hoher Belastung abgeraten.

MacPhail et al. (36) wollten ebenfalls die Auswirkungen und die Sicherheit von maximaler Belastung durch Sport in der Schwangerschaft im dritten Trimenon testen. Dazu engagierten sie 23 aktive Frauen mit unkomplizierten Schwangerschaften. Diese mussten zuerst auf dem Fahrradergometer 4 Minuten lang 20 Watt treten. Danach wurde jede Minute die Wattzahl um 20 erhöht. Dies wurde weitergeführt, bis die Teilnehmerinnen von sich aus die Trainingseinheit abbrachen. Die FHF wurde dabei 20 Minuten vor (Test 1) und 20 Minuten direkt nach (Test 2) der Belastung mittels eines Cardiotokogramms gemessen. Nach der statistischen Auswertung bekam man folgende Ergebnisse: Es gab im Test 2 eine Steigerung der Grundlinie der FHF im Vergleich zu Test 1. Zusätzlich waren in Test 2 signifikant weniger Akzelerationen detektierbar. Die HRV war ebenso reduziert. In zwei Fällen kam es zu einer leichten Tachykardie. Es wurde nur eine Bradykardie aufgezeichnet, wobei bei diesem Fetus danach eine intrauterine Wachstumsverzögerung (IUGR) festgestellt wurde. Sonst kam es zu keinen abnormalen Ergebnissen. Somit stellten MacPhail et al. (36) fest, dass maximale Belastungen in der Spätschwangerschaft zu minimalen Veränderungen der FHF führen. Somit sollten kurze maximale Belastungen entweder für die Forschung oder zu diagnostischen Zwecken kein Problem darstellen.

Carpenter et al. (34) untersuchten 45 schwangere Frauen mit unkomplizierten Schwangerschaften, alle um die 29 Jahre alt, ungefähr in der 25.SSW und mit verschiedenen Fitnesslevels. Aufgabe war es pro Messung zuerst auf dem Fahrradergometer im submaximalen Bereich zu fahren, anschließend nach einer kurzen

Pause eine Einheit mit maximaler Belastung zu bewältigen. Die FHF wurde dabei mit Ultraschall vor und nach jeder Trainingseinheit überwacht. Unter submaximaler Belastung verstand man 70% VO₂max und eine HF von rund 148 Schlägen pro Minute. Die maximale Belastung mit einem Spitzenwert von 180 Schlägen pro Minute wurde mit einer stufenweise ansteigenden Belastung erreicht und erst beendet, wenn die Teilnehmerinnen den Test selbst abbrechen oder aufgrund von Erschöpfung abbrechen mussten. Grundsätzlich änderte sich die durchschnittliche FHF nicht. Während den 85 Messungen im submaximalen Bereich zeichneten sie eine Episode mit Bradykardie (<110 bpm über 10 Sekunden) auf, die jedoch auf eine vasovagale Episode zurückzuführen war. Während der maximalen Belastung kam es bei insgesamt 79 Messungen 15mal zu bradykarden Episoden. Alle Bradykardien wurden erst in der Zeit nach der Belastung detektiert. Zusammenfassend ist zu sagen, dass laut dieser Studie submaximale Belastungen die FHF nicht beeinträchtigen. Im Gegensatz dazu treten bei maximalen Belastungen vermehrt Bradykardieepisoden auf, was ein Hinweis für einen inadäquaten Gasaustausch sein könnte.

Die Studie von Watson et al. (21) wurde bereits im Kapitel 4.1.1 beschrieben. Watson et al. (21) untersuchten wie Carpenter et al. (34) die Auswirkungen von maximaler sportlicher Belastung auf den Fetus. Zur beobachteten FHF ist festzustellen, dass es bei dieser Studie, die Schwimmen und Radfahren vergleicht, in 15% der Fälle zu einer Senkung der FHF in der Höhe von 30 Schlägen pro Minute kam. Diese Senkung trat aber für weniger als 2 Minuten auf und war nach dem Radfahren stärker als nach dem Schwimmen.

May et al. (35) testeten die Hypothese, dass regelmäßige körperliche Betätigung durch die gesamte Schwangerschaft hindurch zu einer Weiterentwicklung des kardialen autonomen Nervensystem führt und somit die HF und die HRV (Herzratenvariabilität) des Feten beeinflusst. Dazu bildeten sie zwei Gruppen. Die Trainingsgruppe bestand aus 26 regelmäßig trainierenden Frauen (> 30 Minuten Aerobic, 3mal in der Woche). Die Kontrollgruppe setzte sich aus 35 gesunden, jedoch nicht trainierten Frauen zusammen. Die Messungen wurden mittels eines Biomagnetometers (Magnetokardiogramm = magnetisches Korrelat zum Elektrokardiogramm) in der 28., 32. und 36.SSW durchgeführt. Danach wurden beide Gruppen miteinander verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass Feten von trainierten Müttern in der 36.SSW eine signifikant niedrigere HF hatten und es zu einem deutlichen Anstieg der HRV kam.

Zwei Jahre später publizierten May et al. (42) erneut eine Studie. Sie hatten in ihrer vorangegangenen Studie (35) ähnliche Ergebnisse wie beim Erwachsenen gefunden. Bei Erwachsenen gibt es Dosis-Wirkungsassoziationen zwischen körperlicher Betätigung und kardiorespiratorischer Fitness. Somit wollten sie herausfinden, ob es eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen sportlicher Betätigung und FHF, HRV und sympatho-vagaler Balance des Feten gibt. Dazu ließen sie schwangere Frauen einen genauen Fragebogen über ihre Trainingsgewohnheiten (Dauer, Intensität, Häufigkeit) vor und während der SS (jedes einzelne Monat) ausfüllen und führten eine Messung mit dem Magnetokardiogramm in der 36.SSW durch. Danach wurde eine genaue statistische Auswertung für jede einzelne Teilnehmerin vorgenommen. Diese ergab, dass die mütterliche körperliche Aktivitätsdosis während dem dritten Trimenon mit einer normalen Trainingsantwort ($\downarrow$ FHF, $\uparrow$ HRV) des fetalen Herzens assoziiert ist.

4.2 Lunge und Atmung

In der Schwangerschaft übernimmt die Plazenta den Gasaustausch. Untersuchungsergebnisse von Veränderungen der Lunge und der Atmung des Feten liegen nur sehr eingeschränkt vor. Erwähnenswert erscheint eine Studie, die die fetalen Atembewegungen während sportlicher Aktivität untersucht. Manders et al. (37) untersuchten primär die FHF Änderung bei 12 Frauen und registrierten gleichzeitig als zusätzliche Referenz die fetalen Atembewegungen. In zwei Fällen wurde als Folge der Belastung eine fetale Bradykardie beobachtet. Auf diese folgten eine Reduktion der HRV und eine Verminderung der fetalen Körper- und Atmungsbewegungen für ca. 20 Minuten. Bei den anderen 10 Feten waren die Atembewegungen in den ersten 5 Minuten nach der Belastung gesteigert. Zwei weitere Studien (43, 44) existieren zu den fetalen Bewegungsmustern und fetalen Atembewegungen. Hierbei wurden diese zwei Parameter als Zeichen des fetalen Wohlbefindens oder des fetalen Stresses beobachtet. Studien mit diesen Parametern sind aber laut Riemann & Kanstrupp (45) inkonstant und mit vielen Fehlerquellen behaftet.

4.3 Stoffwechsel

4.3.1 Fetales Größenwachstum

Der Blutzuckerspiegel steigt bei einem normalen, nicht schwangeren Individuum während der körperlichen Betätigung an (46). Bei Schwangeren kommt es allerdings zu einem Absinken des Blutzuckerspiegels während sportlicher Belastung (47). Durch diesen Mechanismus könnte die fetale Substratzufuhr beeinträchtigt sein. Aus diesem Grund wurden einige Studien bezüglich des fetalen Größenwachstums durchgeführt.

Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung der erschienen Studien.

Autoren	Sportliche Aktivität / Anzahl der Probandinnen	Intensität / Dauer sportliche Aktivität	Schwangerschaftszeitpunkt	Ergebnisse
Clapp et al. 2000 (52)	Weight bearing exercise (Ergo, step aerobic, stiegen steigen) TG 22 ♀ KG 24 ♀	55%-60% VO2max 20 Min. 3-5mal/Wo	8 SSW-Geburt, Messung alle 2 Wochen + 5 Tage nach Geburt	- TG: ↑ GG - gleichmäßige Größenzunahme Fetus u. Plazenta - häufigeres Training – hagerere Kinder
Bell et al. 1995 (49)	Laufen Aerobic Schwimmen 58 ♀ TG 41 ♀ KG	> 50% VO2max für 30 min. 3mal/Wo	25 SSW 35 SSW	- ↓GG bei 5-7mal Training/Wo - ↑ GG bei 3mal Training/Wo - SS-Dauer kein Unterschied TG KG
Bell et al. 2000 (50)	Verschiedene Sportarten 33 ♀ TG 28 ♀ KG	HF>50% max HF > 30 Min. TG> 5/Wo KG< 3/Wo	25 SSW 35 SSW	- hohe drop out Quote -keine signifikante GG Veränderung

Hatch et al. 1993 (54)	Verschiedene Sportarten 800 ♀	Versch. Trainings- levels	28 SSW 36 SSW	- niedriges, moderates Training: GG + 100g - moderates bis hartes Training: GG + 300g - hartes (weightbearing) Training (Joggen im 3 Trimenon: GG - 59g)
Lokey et al. 1991 (48)	Verschiedene Sportarten 1357 ♀ TG 957 ♀ KG	HF ≤ 144 bpm rund 43 min 3xWo	gesamte Schwanger- schaft	- kein sign. Unterschiede Gewichtszunahme, Geburtsgewicht, SS-Dauer, Geburtsdauer, Apgar Scores
Sternfeld et al. 1995 (53)	Verschiedene Sportarten 388 ♀	Versch. Trainings- levels	16 SSW – Ende der SS	- keine Relationen zw. GG, Dauer d. SS, Gewichtszunahme, Geburtskomplikationen, Apgar Scores - Training: ↓SS assoziierte Beschwerden
Haakstad et al. 2011 (56)	Aerobic dance + Krafttraining TG 52 ♀ KG 53 ♀	Moderate Intensität	Mind. 12 Wochen in SS	- kein Unterschied GG zwischen TG und KG - Apgar Score ↑ in TG - kein Unterschied in Gestationslänge
Clapp et al. 1990 (51)	Laufen Aerobic 77 ♀ TG 55 ♀ KG	50-100% vom Level vor der SS	Tägliche Messung durch die gesamte SS	- ↓GG + GG Perzentile - ↓Ponderal Index + Perzentile - ↓fetoplazentaren Gewichtsratio - 70% ↓GG durch ↓ fetale Fettmasse
Juhl et al. 2010 (57)	Versch. Sportarten 79 692 Babys	Versch. Trainings- levels	16 SSW 31 SSW	Training in SS: - leichte ↓ des GG - geringgr. niedrigeres Risiko für IUGR und LGA Babys

Hopkins et al. 2010 (58)	Radfahren TG 47 ♀ KG 37 ♀	65% VO2max 40 Min. Max 5/Wo	Max. bis zur 36 SSW	Babys der TG: - ↓ GG - ↓ Body mass Index - kein Effekt auf Insulin Sensitivität
Campbell et al. 2001 (55)	Verschiedene Sportarten TG 164 ♀ KG 365 ♀	Versch. Trainingslevels	3 Trimenon >5mal/Wo 3-4mal/Wo <2mal/Wo	- ♀ 3-4mal Training besseres GG Outcome im Vergleich zu >5mal Training ↓ GG - <2mal geringstes Risiko für ↓ GG

Tabelle 4: Fetales Wachstum während maternaler körperlicher Betätigung

TG = Trainingsgruppe, KG = Kontrollgruppe, HF = Herzfrequenz, GG = Geburtsgewicht, SSW = Schwangerschaftswoche, VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme, ♀ = Frau, ↓ ↑ = Senkung und Steigerung, > = größer, < = kleiner

Es initiierten Clapp et al. (52) zehn Jahre nach ihrer ersten Studie (51) zu dieser Thematik eine zweite Studie. In dieser wurde getestet, welche Auswirkungen der Beginn einer regelmäßigen, moderaten Bewegung in der Frühschwangerschaft hat. Dazu wurden 46 Frauen in der 8. Schwangerschaftswoche in zwei große Gruppen geteilt. 24 Frauen bildeten die Kontrollgruppe, 22 Frauen die Trainingsgruppe. Ihr Trainingsprogramm beinhaltete 3 bis 5mal in der Woche sogenannte „weightbearing exercises“ (Ergometer, Step Aerobic, Stepper) mit über 50% ihrer VO2max 30 Minuten lang durchzuführen. Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die Babys der Trainingsgruppe signifikant schwerer und länger waren als die der Kontrollgruppe. Dabei kam es zu einer Steigerung der fettfreien Körpermasse und der Fettmasse. In der Trainingsgruppe war die mittlere Plazentawachstumsrate höher und die Funktion der Plazenta besser. Es gab keine signifikanten Unterschiede beim Kopfumfang, beim Ponderal Index, bei der mütterlichen Gewichtszunahme und beim prozentuellen Fettanteil. Durch diese Daten kamen die Forscher zu dem Schluss, dass der Beginn einer regelmäßigen, moderaten Bewegung in der Frühschwangerschaft das fetoplazentare Größenwachstum fördert.

Bell et al. (49) wollten den Effekt intensiven Trainings auf das Geburtsgewicht der Feten bei Frauen austesten, die dieses Training in der Schwangerschaft fortsetzten. Für die Trainingsgruppe (58 Frauen) ihrer Studie engagierten sie Sportlerinnen, die schon vor der

Schwangerschaft ein intensives Trainingsprogramm durchgeführt hatten und dieses in der Schwangerschaft fortsetzen wollten. Die Kontrollgruppe (41 Frauen) setzte sich aus gesunden schwangeren Frauen zusammen, die sich nicht regelmäßig sportliche betätigten. Beide Gruppen wurden angeleitet, ein Trainingstagebuch in der 25. und in der 35.SSW zu führen. Die Sportarten begrenzten sich auf Laufen, Aerobic und Schwimmen, auch Fußmärsche wurden mit aufgezeichnet. Die Intensität des Trainings in der Trainingsgruppe musste allerdings über 50% der VO₂max liegen und über 30 Minuten andauern. Als Vergleichsparameter wurde das Geburtsgewicht des Feten ausgewählt. Es konnte festgestellt werden, dass Babys von Frauen die sich 5-7mal in der Woche sportlich betätigten ein signifikant niedrigeres Geburtsgewicht hatten (3049g vs. 3364g). Frauen die 3mal in der Woche Sport trieben hatten signifikant größere Babys mit rund 3682g. Für die Schwangerschaftsdauer konnte keine Veränderung zwischen den zwei Gruppen festgestellt werden.

Fünf Jahre später wollten Bell et al. (50) erneut eine Studie mit einer größeren Personenanzahl durchführen. Eigentlich wollten sie 138 Frauen für ihre Studie gewinnen, somit 69 Frauen für die Trainingsgruppe und 69 Frauen für die Kontrollgruppe. Es konnten jedoch nur 117 passende Teilnehmerinnen primär für die Studie gewonnen werden. Von diesen 117 Frauen verweigerten 54 Frauen eine Teilnahme, da ihnen das Risiko zu groß war, während der Randomisierung in die Kontrollgruppe zu kommen und somit nicht mehr die gewohnte Intensität ihres Sports in der Schwangerschaft ausüben zu können. Mit 61 Teilnehmerinnen wurde die Studie trotzdem gestartet. Die Trainingsgruppe führte ihr Trainingsprogramm fort. Die Bedingungen waren ihren Sport mit einer HF über 50% des errechneten Altersmaximums über 30 Minuten durchzuführen und dies fünf mal pro Woche oder öfters. Die Kontrollgruppe hatte die gleichen Vorgaben, jedoch waren nicht mehr als drei Einheiten pro Woche vorgesehen. Leider gab es Probleme mit der Compliance, sodass am Ende nur 23 Teilnehmerinnen in der Trainingsgruppe und 20 in der Kontrollgruppe übrig blieben. Es konnten keine signifikanten Ergebnisse das Geburtsgewicht betreffend nachgewiesen werden. Die Aussagekraft der Studie wurde durch die große Drop out Quote limitiert. Eine wichtige Erkenntnis neben den Zielsetzungen der Studie konnte dennoch erlangt werden. Frauen, die sich vorgenommen hatten, in der Schwangerschaft Sport zu treiben, waren sehr kompromisslos und ließen sich sehr schwer bzw. gar nicht von ihrem Vorhaben abhalten.

Da der Nutzen von Sport in der Schwangerschaft umstritten war, initiierten Hatch et al. (54) eine prospektive Studie um die Auswirkungen von mütterlicher sportlicher Aktivität auf das fetale Größenwachstum in jedem einzelnen Trimester zu untersuchen. Eine Gruppe von 800 Frauen wurde zu Beginn der Studie interviewt und in der 28. und 36.SSW erneut kontaktiert. Dabei wurden der Trainingszustand vor der Schwangerschaft, die Sportart, die Dauer und die Intensität des Sports aufgezeichnet. Es konnte eine positive Assoziation zwischen fitten sporttreibenden Frauen mit unauffälligen Schwangerschaften und dem fetalen Größenwachstum gezeigt werden. Mit niedrigem/moderatem Training konnte eine Zunahme des Geburtsgewichtes um 100g festgestellt werden im Vergleich zu Schwangeren, die keinen Sport während der Schwangerschaft durchführten. Mit steigender Trainingsintensität und einem Verbrauch von rund 2000 kcal/Woche wurde eine weitere Steigerung des Geburtsgewichtes beobachtet (+300g). Übten die Schwangeren allerdings hartes Training aus, so kam es zu einem Geburtsgewichtsverlust von rund 54g. Durch diese Ergebnisse wurde festgehalten, dass eventuell die ACOG Guidelines zu streng für gut konditionierte Schwangere mit einem niedrigen Risiko geführt werden. Weiters wurde empfohlen, noch weitere Studien hinsichtlich dieser Thematik durchzuführen.

Lokey et al. (48) verwendeten die Methode der Metaanalyse um die Effekte von maternalem Training auf den Fetus und auf die Mutter selbst zu untersuchen. Damit wollten sie alle Studien, die es zum fetalen Wachstum im Bezug auf körperliche Betätigung gibt, zusammenfassen und Schlüsse daraus ziehen. Sie analysierten insgesamt mehr als 1357 Frauen in Trainingsgruppen und 957 Frauen in Kontrollgruppen. Die Sportarten variierten stark zwischen den Studien. Darauf wurde allerdings wenig Rücksicht genommen. Die Ergebnisse zeigten, dass das Outcome von Frauen, die während der Schwangerschaft Sport betrieben, im Vergleich zu unsportlichen Frauen keine Vorteile in einigen festgelegten Parametern hatten. Untersucht wurden die mütterliche Gewichtszunahme, das kindliche Geburtsgewicht, die Dauer der Schwangerschaft, die Geburtsdauer und die Apgar Scores. Weiters stellten sie fest, dass die meisten Trainingsprogramme der Studien die Empfehlungen des ACOG überschritten, konnten aber keine negativen Auswirkungen dadurch feststellen. Grundsätzlich kamen sie zu dem Schluss, dass ein Trainingsprogramm mit den verschiedensten Sportarten rund 43 min pro Tag, 1-3mal in der Woche mit einer HF von 144 Schlägen pro Minute keine nachteilige Beeinträchtigung des Feten oder der Mutter in einer gesunden Schwangerschaft nach sich zieht. Trotzdem sollte diese Feststellung mit Vorsicht betrachtet werden, da es damals noch

zu wenige Studien zu diesem Thema gab. Empfehlungen oder Vorsichtsmaßnahmen für höhere Sportintensitäten konnten zu dieser Zeit nicht gegeben werden.

Sternfeld et al. (53) untersuchten in ihrer Studie 388 Frauen von der 16.SSW bis zur Geburt. In einem persönlichen Interview wurden die Trainingsgewohnheiten vor der Schwangerschaft und bis hin zur 16.SSW aufgezeichnet, wobei auf die Frequenz, Dauer und Art der sportlichen Betätigung besonders Wert gelegt wurde. Die weitere Entwicklung des Trainings im zweiten und dritten Trimenon wurde mittels telefonisch abgehaltenen Interviews abgefragt. Danach wurden die Frauen in verschiedene Kategorien eingeteilt. Level 1 beinhaltete Frauen die Aerobic mindestens 3mal in der Woche für mindestens 20 Minuten durchführten. Dynamisches, kraftvolles Walken zählte nicht dazu. Level 2 beinhaltete Frauen, die Aerobic mindestens 3mal in der Woche für 20 Minuten durchführten, wobei diesmal das anstrengende Walken mit eingeschlossen wurde. Level 3 umfasste Frauen, die Aerobic weniger als 3mal in der Woche für mindestens 20 Minuten durchführten. Den Abschluss bildet Level 4, in dem Frauen weniger als 1mal in der Woche Aerobic durchführten. Das Ergebnis zeigte, dass es keine Relation zwischen Geburtsgewicht, Dauer der Schwangerschaft, mütterlicher Gewichtszunahme, Geburtskomplikationen oder APGAR Scores und dem Trainingslevel vor bzw. während der Schwangerschaft gab. Allerdings konnte gezeigt werden, dass frühzeitiges Training in der Schwangerschaft die Anzahl der schwangerschaftsassozierten Beschwerden reduziert.

Haakstad et al. (56) zeichnen anhand einer randomisierten, kontrollierten Studie die Unterschiede im Geburtsgewicht zwischen einer kontrollierten Trainingsgruppe und einer Kontrollgruppe auf. Dazu engagierten sie 105 schwangere Frauen. 52 Frauen wurden nach der Randomisierung der Trainingsgruppe zugeteilt, die anderen 53 der Kontrollgruppe. Für die Trainingsgruppe gab es ein speziell angelegtes Trainingsprogramm, das 2mal in der Woche abgehalten wurde. Jede Einheit umfasste zuerst gemeinsames fünf minütiges Aufwärmen, worauf 35 Minuten Aerobic Dance folgte. Im Anschluss daran wurden noch 15 Minuten Kraftübungen durchgeführt, wobei vor allem auf den Beckenboden, die Rückenmuskulatur und die tiefen Bauchmuskelstabilisatoren Wert gelegt wurde. Die letzten 5 Minuten wurde entspannt und gedehnt. Zusätzlich wurde den Frauen empfohlen, jeden Tag rund 30 Minuten zu Hause selbst Sport zu treiben. Die Trainingseinheiten mussten für mindestens 12 Wochen durchgeführt werden. Nach dieser Trainingsperiode stellte sich heraus, dass es keinen signifikanten Unterschied des Geburtsgewichtes zwischen Trainingsgruppe und Kontrollgruppe gab. Nach der Geburt zeigten allerdings die

Neugeborenen aus der Trainingsgruppe bessere Apgar Scores. Weiters konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich der Länge der Schwangerschaft aufgezeichnet werden.

Clapp et al. (51) verfassten ebenfalls zu dieser Thematik eine Studie. In dieser Studie wurde die Hypothese getestet, ob eine Fortsetzung von regelmäßigem Laufen oder Aerobic in der Spätschwangerschaft das fetale Größenwachstum verändert. Dazu teilten sie die Studienteilnehmerinnen in eine Trainingsgruppe (77 Frauen) und eine Kontrollgruppe (55 Frauen) ein. Die Frauen der Trainingsgruppe mussten ihren Trainingsumfang um 50% reduzieren. Die Trainingsgewohnheiten der Frauen wurden vor und während der Schwangerschaft aufgezeichnet und quantifiziert. Nach der Analyse der Daten stellte sich eine signifikante Reduktion des Geburtsgewichts (-310g), der Geburtsgewichtsperzentile (-20), des Ponderal Indexes (-0,24), der Ponderalindex Perzentile (-30) und des Fetoplazentaren Gewichtsverhältnis (-0,7) in der Trainingsgruppe heraus. Andererseits konnte bei der Gesamtlänge der Feten (51,4 cm) und beim Kopfumfang (35 cm) kein Unterschied zwischen der Trainingsgruppe und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Da auch die Hautfaltendicke (-1,5mm), die Hautfalten Perzentile (-30), die berechnete Körperfettmasse (-5%) und die Fettmasse (-220g) gemessen wurden, konnte die asymmetrische Größenreduktion der Feten zwischen Trainingsgruppe und Kontrollgruppe erklärt werden. Dieses Ergebnis zeigte, dass rund 70% des Gewichtsunterschiedes auf eine Reduktion der neonatalen Fettmasse zurückzuführen ist.

Juhl et al. (57) führten eine Studie durch, in der sie die nationale dänische Geburtenkohorte untersuchten. Diese Studie umfasste Telefoninterviews, bei denen die Trainingsgewohnheiten 2mal in der Schwangerschaft abgefragt wurden. Die Daten bei der Geburt wurden von einer Datenbank abgefragt. In diese Studie wurden 79 692 Babys eingeschlossen. Nach den Befragungen wurden die Teilnehmerinnen, die regelmäßig Sport in der Schwangerschaft betrieben hatten, in verschiedenen Gruppen eingeteilt. Es wurde zwischen Schwimmen, Sportarten mit niedriger Belastung (Aerobic/Gymnastik, Tanzen, Walken/Wandern, Yoga), Sportarten mit hoher Belastung (Laufen, Ballspiele), Workout/Fitnessstraining, Radfahren, Reiten und nicht klassifizierbaren Sportarten unterschieden. Die vom Sport in Anspruch genommene Zeit pro Woche wurde zusätzlich im Interview erfragt und danach kategorisiert. Die genauen Daten der Babys zum Zeitpunkt der Geburt wurden einer Datenbank entnommen. Wichtig waren das Gestationsalter bei Geburt, das mütterliche Alter bei der Empfängnis und das Geschlecht

der Babys. Die statistische Analyse dieser enorm großen Anzahl an Daten ergab keinen negativen Effekt von Freizeitsport während der Schwangerschaft. Es konnte eine Tendenz Richtung kleinere Babys von sporttreibenden Frauen erkannt werden, jedoch waren nicht alle Ergebnisse signifikant. Die geringen Unterschiede in den Ergebnissen lassen keine eindeutigen Aussagen zu. Sportliche Aktivität würde den Babys rauchender Mütter mehr Vorteile bringen als Babys nicht rauchender Mütter. Dafür müssten aber noch mehrere verlässliche Daten gesammelt werden. Schließlich wurde noch ein geringgradig niedrigeres Risiko für IUGR und LGA Babys bei sporttreibenden Müttern im Vergleich zu nicht sportlichen Müttern gefunden.

Hopkins et al. (58) vermuteten einen Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und der Insulin Sensitivität. Dies hätte einen Einfluss auf die Nährstoffversorgung des Kindes und somit einen Einfluss auf das Geburtsgewicht. Für ihre Studie untersuchten sie 84 Frauen. 47 teilten sie in die Trainingsgruppe ein, 37 in die Kontrollgruppe. Das Trainingsprogramm umfasste zu Hause stationiertes Radfahren maximal 5 Einheiten in der Woche für 40 Minuten. Dabei sollten die Frauen 65% der VO₂max oder die HF von 150 Schlägen pro Minute nicht überschreiten und dieses Programm nicht länger als bis zur 36. SSW durchführen. Währenddessen wurde die Insulin Sensitivität in der 19. und 34. SSW mittels eines Glucose Toleranz Test festgestellt. Die fetale Körpermessung wurde bis spätestens 48 Stunden nach der Geburt durchgeführt und umfasste das Geburtsgewicht, die Länge und den Kopfumfang. Der Body Mass Index (BMI) wurde danach berechnet. Zusätzlich wurde 2-3 Wochen nach der Geburt die Körperzusammenstellung von Mutter und Kind erhoben. Die totale Fettmasse, die fettfreie Masse, der Prozentanteil an Körperfett und die Knochendichte wurde gemessen. Als Ergebnis all dieser Daten stellte sich heraus, dass die Kinder von Frauen der TG ein geringeres Geburtsgewicht und einen geringeren BMI als Kinder von Frauen der Kontrollgruppe aufwiesen. Die Reduktion der maternalen Insulinsensitivität in der Spätschwangerschaft war nicht durch Sport beeinträchtigt und es konnte kein Zusammenhang mit der Körpergröße des Kindes hergestellt werden.

Campbell et al. (55) untersuchten mittels einer Fall-Kontroll Studie die Auswirkungen von sportlicher Aktivität in der Schwangerschaft. Dazu erhoben sie die Daten von Babys die über der 34.SSW geboren wurden und nach der Geburt unter der 15 Geburtsgewichtspersentile für das jeweilige Gestationsalter lagen. Die Daten wurden

mittels eines von den Müttern selbst ausgefüllten Fragebogens gesammelt und ausgewertet. Dabei konnte festgestellt werden, dass Babys ein höheres Risiko für ein niedrigeres Geburtsgewicht haben, wenn Schwangere bis ins dritte Trimenon mehr als 5mal in der Woche Sport ausüben im Vergleich zu Schwangeren die nur 3-4mal in der Woche aktiv sind. Das geringste Risiko für Babys mit vermindertem Geburtsgewicht haben Frauen, die unter 2mal in der Woche sportliche Einheiten vollzogen. Andere wesentliche Faktoren, die Einfluss auf das Geburtsgewicht nehmen, sind die mütterliche Größe, die Maße der Schwangeren, die Gewichtszunahme in der Schwangerschaft, Rauchen im dritten Trimenon und die Nulliparität.

4.3.2 Energiebereitstellung und Hormonveränderungen

Während körperlicher Belastung ist eine Veränderung der Energiebereitstellung zu beobachten. Kommt es beim normalen gesunden Individuum zu einem nahezu linearen, intensitätsabhängigen Anstieg des Blutzuckers während körperlicher Belastung, so verändert sich dies mit zunehmendem Fortschreiten der Schwangerschaft (59).

Tabelle 5 zeigt Studien, die die Veränderungen der Energiebereitstellung unter sportlicher Aktivität untersucht haben.

Autoren	Sportliche Aktivität / Anzahl der Probandinnen	Intensität / Dauer sportliche Aktivität	Schwangerschaftszeitpunkt	Ergebnisse
Clapp et al. (59)	Laufen 75♀	>60% VO2max 20 Min.	Vor SS 8 SSW 15 SSW 23 SSW	- vor SS ↑ BZ mit Trainingsintensität - 8 SSW: geringere Steigerung, BZ ↑ bei $\geq 80\% \text{VO}_{2\text{max}}$ - 15 SSW: fortgeschrittene Reaktion im Vgl. 8 SSW - 23 SSW: BZ ↓ während Training - keine Assoziation zw. diesem Ergebnis & Insulin/Catecholaminantwort

Bonen et al. (47)	Radfahren 14 ♀ TG 7 ♀ KG	HF 130-140 bpm > 30 Min.	Zweites oder drittes Trimenon	- ↓ BZ 25% u. 35% im 2./3. Trimenon - ↓ Insulin/Glucose Rate - ↓ Catecholaminantwort - ↓ Ö Konz. 24% u. 16% im 2./3. Trimenon - ↑ Laktat, freie FS, HPL, Progesteron - HCG normal - FHF normal
Bonen et al. (60)	Radfahren 36 ♀ TG 6 ♀ KG	HF: 150 – 180 bpm 20-25 Min	1., 2., 3. Trimenon	- ↑ Laktat u. frei FS - ↓ BZ, am niedrigsten im 3. Trimenon - ↓ Insulin - kleine ↑ Progesteron, HPL, HCG, Östradiol - red. Catecholaminantwort im 3. Trimenon

Tabelle 5: Veränderung der Energiebereitstellung während maternaler körperlicher Betätigung

TG = Trainingsgruppe, KG = Kontrollgruppe, HF = Herzfrequenz, FHF = fetale Herzfrequenz, HPL = human placental lactogen, HCG = human chorionic gonadotropin, BZ = Blutzucker, SSW = Schwangerschaftswoche, VO₂max = maximale Sauerstoffaufnahme, ♀ = Frau, ↓ ↑ = Senkung und Steigerung, > = größer, < = kleiner

Um der Glucoseversorgung während sportlicher Betätigung in der Schwangerschaft auf den Grund zu gehen, untersuchten Clapp et al. (59) 75 sporttreibende schwangere Frauen. Die ausgewählten Sportarten waren Laufen und Aerobic mit einer Intensität von mehr als 60% der VO₂max für mehr als 20 Minuten. Danach wurde jeweils vor der Schwangerschaft, in der 8 SSW, in der 15 SSW und in der 23 SSW Blut abgenommen und der Blutzucker bestimmt. Vor der Schwangerschaft kam es zu einer intensitätsabhängigen Steigerung des Blutzuckers mit einem durchschnittlichen Wert von 1,5 mmol/L bei intensiver Belastung. In der 8 SSW kam es nur zu einem Anstieg des Blutzuckers, wenn die Beanspruchung über 80% der maximalen Leistungsfähigkeit hinausging. In der 15 SSW schritt diese Entwicklung weiter fort, war aber nicht assoziiert mit einer Veränderung der Insulin oder Katecholaminveränderung. In der 23 SSW fand man eine Senkung des Blutzuckers während körperlicher Betätigung. Dieses Ergebnis war unabhängig von der Intensität der Belastung. Zusammenfassend ließ sich festhalten, dass es zu einer gegenteiligen Blutzuckerantwort bei schwangeren Frauen im Vergleich zu nicht schwangeren Frauen kommt und dass dieser Effekt mit einer verminderten hepatischen

Glucosebereitstellung und einer vermehrten Glucose Oxidation verbunden ist. Es könnte sein, dass die Nachfrage nach Glucose in der Arbeitsmuskulatur während der Schwangerschaft steigt bzw. die fetoplazentare Einheit durch die sportliche Betätigung mehr Glucose benötigt. Trotzdem lässt sich aus dieser Vermutung kein Rückschluss auf die fetale Ernährung während sportlicher Betätigung ziehen.

Bonen et al. (47) untersuchten die Substratversorgung und die Veränderungen der Hormonkonzentrationen der Feten während sportlicher Betätigung der Mutter. Dazu verglichen sie die Veränderungen von Glucose (G), Laktat (L), freien Fettsäuren (FFS), Insulin (I), Adrenalin (A), Noradrenalin (NA), HCG, HPL, Östradiol (Ö) und Progesteron (P) bei sieben nichtschwangeren und 14 schwangeren Frauen im zweiten und dritten Trimenon im Bezug auf sportliche Betätigung. Dazu mussten die Probandinnen Tests auf dem Fahrradergometer mit einer Zielherzfrequenz von 130-140 Schlägen pro Minute absolvieren. Die Parameter wurden vor, während und nach der 30 minütigen Belastung gemessen. Generell hielten die Forscher fest, dass alle getesteten Substrate und Hormonkonzentrationen während der Belastung anstiegen. Ausgenommen davon war Insulin und Glucose, die absanken und HCG, das sich nicht veränderte. Unterschiede in den Hormonkonzentrationen (P, Ö, HCG, HPL) ergaben sich bereits in Ruhe aufgrund der unterschiedlichen Schwangerschaftsabschnitte. Es kam zu einer Absenkung des Blutzuckers von 25% im zweiten Trimenon und von 32% im dritten Trimenon. Zusätzlich fand man eine Verminderung des Insulin/Glucose Verhältnisses. Die Katecholaminantwort (A, NA) war während der Schwangerschaft genauso vermindert wie die Östradiol Konzentration. Während der Belastung kam es zu einem Anstieg des Laktats, der freien FS, des HPL und des Progesterons. Die FHF blieb während der gesamten beobachteten Trainingszeiten im Normbereich.

Drei Jahre später initiierten Bonen et al. (60) erneut eine Studie zum Thema Substrat und Hormonantwort auf körperliche Betätigung in der Schwangerschaft, nur diesmal mit einer größeren Anzahl an Probandinnen. Sie testeten 36 schwangere Frauen im ersten, zweiten und dritten Trimenon. Sechs nicht schwangere Frauen bildeten die Kontrollgruppe. Erneut wurde Blut vor, direkt danach und 45 Minuten nach der Belastung abgenommen. Die Frauen mussten 45 Minuten mit einer durchschnittlichen HF von 150 Schlägen pro Minute (Maximum, dass erreicht wurde: 180 Schläge pro Minute) auf dem Ergometer fahren. Dabei waren die HF Werte der KG mit rund 130 Schlägen pro Minute um einiges geringer.

Es wurde in allen Gruppen beobachtet, dass es zu einem Anstieg des Laktates und der freien FS, sowie zu einer Senkung des Blutzuckerspiegels (am stärksten im dritten Trimenon) während der Belastung kam. Bei den schwangeren Frauen kam es zu einer Absenkung der Insulinkonzentration. Diese blieb nach der Belastung eine Zeit lang im niedrigen Bereich. Im Gegensatz dazu stiegen die freien FS nach der Belastung wieder stark an. Bei den anderen Hormonen kam es nur zu einem leichten Anstieg des Progesterons, des HPLs, des HCGs und des Östradiols. Die Katecholaminantwort war vor allem im dritten Trimester vermindert. Zusammenfassend ist zu sagen, dass unkontrollierte nicht stationäre körperliche Belastungen das Substrat- und Hormonmilieu nicht aus dem Gleichgewicht bringen. Wenn es auch kurz zu Veränderungen der Konzentrationen während der Belastung kommt, erholt sich das Substrat und Hormonsystem danach enorm schnell. Weiters ist festzuhalten, dass es zu einer Senkung des Blutzuckerspiegels vor allem im dritten Trimenon kommt.

4.4 Geburt

Laut Riemann et al. (45) wurde in der Vergangenheit behauptet, dass Sport in der Schwangerschaft Frühgeburten aufgrund der Prostaglandinwirkung und aufgrund des Anstiegs der Katecholamine hervorrufen kann. Außerdem wurde insistiert, dass es zu einer länger dauernden Geburt aufgrund der starken Beckenbodenmuskulatur kommen könnte. Diese Befürchtungen konnten allerdings durch Studien widerlegt werden.

Tabelle 6 zeigt eine Zusammenfassung der Studien, die sich mit dieser Thematik beschäftigten:

Autoren	Anzahl der Probandinnen in KG und TG	Intensität / Dauer sportliche Aktivität	Ergebnisse
Lockey et al. (48)	TG 1357 ♀ KG 957 ♀	HF $\leq$ 144 bpm Rund 43 Min. 3mal/Woche	Keine sign. Unterschiede TG/KG: - SS Dauer - Dauer der Geburt - Apgar Scores
Clapp (61)	TG 87 ♀ KG 44 ♀	50 – 100% vom Trainingslevel vor der SS	- kein Unterschied TG/KG betreffend d. Inzidenz von vorzeitigen Geburten - ↓ SS Dauer TG - TG ↓ Inzidenz von Kaiserschnitten und Forceps Entbindungen - TG kürzere Geburt - TG klinische Zeichen für Foetalen Stress ↓ - ↓ GG in TG
Beckmann & Beckmann (62)	TG 50 ♀ KG 50 ♀	1 Stunde 2mal/Woche	- TG: kürzere 1. und 2. Phase der Geburt - TG: mehr spontane vaginale Entbindungen, weniger Verbrauch von Oxytocin während Geburt
Klebanoff et al. (63)	7101 ♀	Trainingslevel während Interview festgelegt	- Kein Zusammenhang zw. Sport u. frühzeitiger Geburt - kein Unterschied GG
Rice & Fort (64)	30 ♀	Trainingslevel während Interview festgelegt	keine sign. Unterschiede TG/KG: - SS Dauer - mütterliche Gewichtszunahme - Geburtsgewicht - Apgar Scores (1 Min. Score besser bei TG!)
Barakat et al. (65)	TG 72 ♀ KG 70 ♀	$\leq$ 80% der max. HF 80 Einheiten à 35 min 3mal/Wo	- keine signifikanten Unterschiede zw. TG u. KG bei Gestationsalter, Apgar Scores

Barakat et al. (66)	TG 80 ♀ KG 80 ♀	≤ 80% der max. HF 3mal/Wo über 26 Wochen	- kein signifikanter Unterschied zw. TG u. KG bei Geburtstypus
Hall et al. (67)	Radfahren, individuelle Ü 845 ♀ Low TG: 82 ♀ Med. TG: 309 ♀ High TG: 61 ♀ KG: 393 ♀	Je nach Trainingsgruppe	- Schwangerschafts-Outcome ↑ TG - keine Veränderung der FHF

Tabelle 6: Auswirkungen von mütterlichen Training auf die Schwangerschaftsdauer und Geburt.

TG = Trainingsgruppe, KG = Kontrollgruppe, HF = Herzfrequenz, FHF = fetale Herzfrequenz, GG = Geburtsgewicht, SSW = Schwangerschaftswoche, VO₂max = maximale Sauerstoffaufnahme, ♀ = Frau, ↓ ↑ = Senkung und Steigerung, > = größer, < = kleiner

Die bereits vorab erwähnte Studie von Lokey et al. (48) umfasst eine groß angelegte Metaanalyse, die die Schwangerschaftsdauer, Gesamtdauer der Geburt und die darauf folgenden Apgar Scores untersuchten. Dabei konnten keine Unterschiede zwischen sporttreibenden und nicht sporttreibenden schwangeren Frauen gezeigt werden.

Clapp (61) verfasste zu diesem Thema ebenfalls eine Studie. Er wollte die Hypothese widerlegen, dass ein kontinuierliches Trainingsprogramm in der zweiten Schwangerschaftshälfte einen negativen Effekt auf den Geburtsverlauf hat. Dazu testete er 131 gut trainierte Frauen, die eine unauffällige erste Hälfte der Schwangerschaft hinter sich hatten. Er bildete eine Trainingsgruppe mit 87 Frauen und eine Kontrollgruppe mit 44 Frauen. In einem Interview wurden die Trainingsgewohnheiten vor und während des ersten Teils der Schwangerschaft abgefragt und verglichen. Die Trainingsgruppe musste in der zweiten Schwangerschaftshälfte ihr tägliches Trainingsprogramm mit einer Intensität von mindestens 50% ihres Trainingslevels vor der Schwangerschaft durchführen. Es konnte beobachtet werden, dass die Inzidenz einer Frühgeburt in beiden Gruppen gleich hoch war. Die vaginale Geburt an sich begann in der Trainingsgruppe früher und dauerte kürzer. Zusätzlich hatten die Frauen der Trainingsgruppe eine geringere Inzidenz für Kaiserschnitte und Forceps Entbindungen. Schlussendlich waren die klinischen Zeichen von fetalen Stress während der Geburt (Mekoniumabgang, FHF Verhalten und Apgar Scores) weniger häufig bei der TG zu beobachten als bei der KG, obwohl das

Geburtsgewicht geringer war. Mit dieser Studie konnte die anfangs gestellte Hypothese widerlegt werden. Es konnte gezeigt werden, dass das Fortführen eines Trainingsprogramms in der Schwangerschaft von gut konditionierten Frauen Vorteile bezüglich der Geburt und des Geburtsoutcomes hat.

Beckmann & Beckmann (62) verglichen die Geburt und den Geburtsausgang von 50 schwangeren Frauen, die keinerlei Risiko in der Schwangerschaft vorzuweisen hatten. Sie nahmen an einem freiwilligen, strukturierten, nicht auf Ausdauer ausgerichteten Trainingsprogramm für 1 Stunde 2mal in der Woche teil. 50 weitere Frauen bildeten die Kontrollgruppe. Es konnten keine nachteiligen Effekte in der TG bezüglich des fetalen Wohlbefindens gezeigt werden. Vorteile gab es bei der Geburt zu verbuchen. Die Frauen der TG hatten signifikant kürzere erste und zweite Phasen der Geburt. Zusätzlich brauchten sie seltener Oxytocin während der Geburt und hatten mehr spontane vaginale Geburten. Die Daten aus dieser Studie weisen auf die Vorteile der sportlichen Aktivität in der Schwangerschaft im Bezug auf den Geburtsverlauf hin.

Klebanoff et al. (63) untersuchten prospektiv mittels einer Kohorte von 7101 Frauen den Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und dem Geburtszeitpunkt bzw. dem Geburtsgewicht. Als körperliche Aktivität verstanden sie nicht nur Freizeitsport sondern auch die Aktivität während der Arbeit. So konnten sie zeigen, dass vermehrtes, langes Stehen (rund 8 Stunden) während der Arbeitszeit ein geringgradig höheres Risiko für Frühgeburten darstellt. Schwere Arbeit und Freizeitaktivitäten waren nicht mit einem erhöhten Frühgeburtenrisiko assoziiert. Die Proportionen der Babys unterschieden sich nicht wesentlich voneinander, egal ob die Mutter einen vermehrt stehenden, aktiven oder sitzenden Beruf ausübte. Sportliche Aktivität war nicht mit einem verminderten Geburtsgewicht assoziiert. Durch die Daten dieser Studie wurde darauf hingewiesen, dass oft die sozioökonomische Situation der Schwangeren in anderen Studien außer Acht gelassen wird und sich somit veränderte Ergebnisse bei den Studien ergeben. Laut Klebanoff et al. (63) haben die meisten schwangeren Frauen, die während der Schwangerschaft höhere Levels von körperlicher Aktivität erreichen, kein höheres Risiko für Frühgeburten oder reduziertem intrauterinen Wachstum.

Rice & Fort (64) interviewten 30 Frauen und teilten danach diese in eine aktive und eine inaktive Gruppe. Daten zur Schwangerschaft, zur Geburt, zu den Strapazen während der

Geburt, zu den Apgar Scores und zum Baby selbst wurden aufgezeichnet und analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass Babys von aktiven Frauen einen minimal höheren ein-Minuten-Apgar Score zeigten als Babys von nicht aktiven Müttern. Dafür gab es keinen Unterschied beim fünf-Minuten-Apgar Wert und beim Geburtsgewicht. Aktive Frauen gaben geringere Anstrengungen bei der Geburt an, hatten aber längere Geburtszeiten. Auch hier gab es keine Unterschiede in der Dauer der Schwangerschaft und der mütterlichen Gewichtszunahme. Die mütterliche Gewichtszunahme korrelierte jedoch positiv mit dem fetalen Gewicht. Bei Primiparas wurde eine deutlich längere Geburtsdauer aufgezeichnet. Keinen Unterschied gab es beim Gebrauch von medikamentöser Therapie während der Geburt. Zusätzlich konnte man bei übergewichtigen Damen feststellen, dass sie länger in den Wehen lagen, subjektiv höhere Strapazen aushalten mussten und Kinder mit einem höheren Geburtsgewicht auf die Welt brachten.

Da es laut Barakat et al. (65) einige Kontroversen bezüglich des erhöhten Risikos für Frühgeburten bei sporttreibenden schwangeren Müttern gab, initiierten sie eine neue Studie. Sie wollten zeigen, dass Sport im zweiten und dritten Trimenon keinen negativen Effekt auf den Geburtszeitpunkt hat. Dafür bildeten sie mit 72 zuvor unsportlichen Frauen eine Trainingsgruppe und mit 70 weiteren eine Kontrollgruppe. Die Trainingseinheiten bestanden aus 35 Minuten kontrolliertem sehr leichten Widerstands- und Muskeltraining. Diese wurden rund 80mal zwischen dem zweiten und dritten Trimenon durchgeführt. Es konnten keine signifikanten Unterschiede in der Gestationslänge und bei den Apgar Scores gefunden werden. Anders als bei vergleichbaren Studien wurde dabei vorrangig auf das Alter der Mütter, die Rauchgewohnheiten, die Anzahl der Stunden, die stehend während der Arbeit verbracht wurden, und auf vorherige Schwangerschaften Rücksicht genommen.

Ein Jahr später veranlassten Barakat et al. (66) erneut eine Studie, in der sie vor allem auf den Geburtstypus eingingen. Diesmal konnten sie 80 Frauen für die Trainingsgruppe und 80 Frauen für die Kontrollgruppe gewinnen. Die Trainingseinheiten beliefen sich ähnlich wie in der zuvor durchgeführten Studie. Es konnte kein signifikanter Unterschied in der Art der Geburt gezeigt werden. Es gab in beiden Gruppen ungefähr gleich viele spontane vaginale Geburten als auch Kaiserschnitte. Weiters konnte kein Unterschied bezüglich des zeitlichen Geburtsverlaufs gezeigt werden.

Hall et al. (67) konnten schon sehr früh die positiven Auswirkungen von Sport auf die Schwangerschaft in ihrer großen Studie festlegen. Dazu teilten sie 845 Frauen in eine Kontrollgruppe und drei Trainingsgruppen ein. Die erste TG, oder auch low level TG bestand aus 82 Frauen. In der zweite TG, oder auch medium level TG, befanden sich 309 Frauen. Die high level TG bildeten 61 Frauen. Jede Trainingseinheit bestand aus Aufwärmen, danach Krafttraining je nach Trainingsgruppenlevel und danach 1 – 2 Meilen Fahrt am Ergometer über die gesamte Schwangerschaft hinweg. Interessant waren für Hall et al. (67) vor allem die Auswirkungen auf die Geburt. Somit wurden folgende Daten nach der Geburt erhoben: Länge der Geburt, Art der Geburt, die Länge der Hospitalisierung nach der Geburt, das Gestationsalter bei Geburt, das Geburtsgewicht und die Apgar Scores der Neugeborenen. Als Ergebnis erhielt man Vorteile aller erhobenen Daten in den Trainingsgruppen, vor allem in der high level TG. Interessant war, dass Frauen aus den Kontrollgruppen 4mal häufiger das Kind per Kaiserschnitt auf die Welt brachten als Frauen aus den Trainingsgruppen. Die während der Trainingseinheiten aufgezeichnete fetale HF zeigte keine Veränderungen durch die körperliche Belastung.

4.5 Langzeitauswirkungen

Die Langzeitauswirkungen der sportlichen Aktivität in der Schwangerschaft sind Gegenstand einiger Studien. Die Benefits, die das Kind davonträgt, sind im großen Interesse der Eltern aber auch der Gesellschaft. Könnte man durch neue Ansätze das Risiko für Adipositas senken, würde dies einen großen gesundheitspolitischen Wert haben.

Laut Oken (68) haben Studien gezeigt, dass die heranwachsenden Kinder leicht adipöser Frauen ein erhöhtes Risiko für Adipositas und kardiovaskuläre bzw. metabolische Erkrankungen haben. Epidemiologische Studien fanden ebenfalls einen Zusammenhang zwischen gesteigerter Gewichtszunahme in der Schwangerschaft und dem erhöhten Gewicht des Kindes. Daraus folgend ergibt sich ein erhöhtes Risiko für Adipositas und Bluthochdruck in der weiteren Folge des Lebens. Diese negativen Perspektiven sind begründet im Zusammenspiel körpereigener Genen und sozialer Verhaltensweisen. Wenn das Kind adipöser Frauen schon intrauterin einer Umwelt ausgesetzt ist, in der ein Übermaß an Angebot herrscht, entsteht bereits dort das erhöhte Risiko für spätere Adipositas des Kindes. Frühzeitig wird das Kind im Appetitverhalten, dem Metabolismus und im Aktivitätsgrad geprägt. Ein frühzeitiges Unterbrechen dieses Teufelskreises sollte

nicht nur im Interesse des Individuums sondern auch im Interesse der Allgemeinheit stehen. Sinnvolle Interventionen, wie regelmäßiger Sport in der Schwangerschaft, könnten somit der Mutter und ihren folgenden Schwangerschaften, dem Leben des Kindes, aber auch den nächsten Generationen medizinische und soziale Vorteile bringen.

Zu dieser Thematik gibt es einige Studien. Fisch et al. (69) konnten schon frühzeitig in ihrer prospektiven Studie zeigen, dass Kinder mit erhöhtem (> 95.-100. Perzentile) bzw. erniedrigtem (0.-5. Perzentile) Geburtsgewicht mit dem Alter von 4 bzw. 7 Jahren die entsprechende adipöse oder hagere Tendenz des Körpergewichts besaßen.

Gillman et al. (70) untersuchten ebenfalls in einer prospektiven Studie die Langzeitauswirkungen von erhöhtem Geburtsgewicht (>95. Perzentile). Dabei konnten sie zeigen, dass erhöhtes Geburtsgewicht das Risiko für Adipositas in der Pubertät stark steigert und sehr oft miteinander korreliert.

Sorensen et al. (71) untersuchten gleiche Tendenzen wie die vorherigen zwei Studien, diesmal jedoch beim Erwachsenen. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass zwischen dem Geburtsgewicht und dem Body Mass Index 20 Jahre später ein Zusammenhang besteht.

Barker et al. (72) konnten zeigen, dass Babys, die ein zu niedriges Geburtsgewicht aufwiesen, ein größeres Risiko für Stammadipositas, Diabetes Mellitus Typ 2 und frühzeitigen kardiovaskulären Erkrankungen hatten.

Clapp führte auch zu diesem Thema einige Studien durch. Dabei legte er mehr Wert auf das Verhaltensmuster von Neugeborenen, deren Mütter über die ganze Schwangerschaft hinweg Sport ausgeübt hatten. In seiner Studie (73) testete er 5 Tage nach der Geburt mittels der Brazelton Skala (neurologischer Status beim Neugeborenen, mit dem der Entwicklungsstand bzw. -fortschritt aufgezeichnet werden kann) den Entwicklungsstand und das Verhaltensmuster der Neugeborenen. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass Kinder aktiver Mütter ein verbessertes neurologisches Verhaltensmuster zeigten als Kinder nicht aktiver Mütter. Dieses Ergebnis erweitert und unterstreicht die Studien (74, 75) die Clapp et al. bereits einige Jahre zuvor durchgeführt hatten. In diesen konnte er zeigen, dass bei Kindern, deren Mütter Sport in der Schwangerschaft ausübten, im Alter von 1 und 5 Jahren keine neurologischen oder körperlichen Entwicklungsstörungen auftraten.

4.6 Empfehlungen und Richtlinien

In den letzten 50 Jahren hat sich das Körperbewusstsein unserer Gesellschaft stark verändert. Da die Relevanz körperlicher Betätigung immer weiter in den Vordergrund rückte, wurde die Frage nach den Auswirkungen von Sport auf die Schwangerschaft immer dringender. Die Veränderung unseres Bewusstseins forderte immer vehementer Studien in diese Richtung. Somit wurden auf Basis dieser Studien Richtlinien erstellt, die eine Orientierung der betroffenen Gesellschaftsgruppen erlaubten. Selbstverständlich veränderten sich diese Richtlinien mit zunehmendem Wissen.

Das American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG) veröffentlichte erstmals im Jahre 1950 entsprechende Richtlinien. Empfohlen wurde damals nicht mehr als eine Meile pro Tag zu gehen, am besten nicht am Stück sondern aufgeteilt in mehrere Abschnitte. 1985 wurde eine neue Richtlinie erstellt, die 15-20 Minuten maximal drei Tage in der Woche körperliche Bewegung empfahl (1).

1994 wurden die Richtlinien erneut überarbeitet. Nun wurde empfohlen, dass Frauen, die schon ein Trainingsprogramm vor der Schwangerschaft absolvierten, dieses unter moderaten Bedingungen weiterführen sollten (76).

Die letzten noch weiterhin gültigen Richtlinien wurden 2002 veröffentlicht. Die Empfehlungen lauten folgendermaßen (77):

- Freizeit und Wettkampfsportlerinnen mit unkomplizierten Schwangerschaften sollten auch weiterhin während der Schwangerschaft aktiv bleiben. Im Falle einer medizinischen Indikation sollten sie ihre Trainingsgewohnheiten an die veränderte Situation anpassen und reduzieren.
- Über starke körperliche Belastungen in der Schwangerschaft gibt es wenige Studien. Somit sollten Frauen, die solchen hohen körperlichen Belastungen ausgesetzt sind (vor allem Leistungssportlerinnen), medizinisch engmaschig kontrolliert werden.
- Frauen, die vor der Schwangerschaft nicht sportlich aktiv waren und Frauen, bei denen medizinische oder schwangerschaftsassoziierte Komplikationen bekannt sind, sollten genauestens evaluiert werden, bevor ihnen die sportliche Betätigung in der Schwangerschaft empfohlen wird.
- Frauen mit Gestationsdiabetes würden zusätzlich durch Sport in der Schwangerschaft gesundheitlich profitieren.

- Aktive Frauen, die in ihrer früheren Krankengeschichte eine Frühgeburt oder eine fetale Wachstumsverzögerung aufweisen, sollten dazu aufgefordert werden, ihr Training im zweiten und dritten Trimenon zu reduzieren.

Wie Tabelle 7 zeigt, gibt es laut ACOG zusätzlich absolute Kontraindikationen für sportliche Betätigung in der Schwangerschaft (77):

Absolute Kontraindikationen für Sport in der Schwangerschaft
• Hämodynamisch wirksame Herzerkrankungen • Restriktive Lungenerkrankungen • Zervixinsuffizienz/Cerclage • Frühgeburtsbestrebungen in früherer oder jetziger Schwangerschaft • Persistierende Blutungen im zweiten oder dritten Trimenon • Placenta praevia nach der 26. SSW • Vorzeitiger Blasensprung • Präeklampsie/schwangerschaftsinduzierte hypertensive Erkrankungen

Tabelle 7: Absolute Kontraindikationen für Sport in der Schwangerschaft (77)

Patientinnen sollten laut ACOG auf jeden Fall von sportlicher Aktivität in der Schwangerschaft abgeraten werden, wenn sie Erkrankungen aufweisen, die in Tabelle 7 gezeigt werden. Vor allem für Patientinnen, die cardio-pulmonale Grunderkrankungen aufweisen, wäre ein zusätzliches körperliches Training eine zu große Belastung. Für Frauen mit auffälligem oder pathologischem Schwangerschaftsverlauf wäre Sport ebenfalls ein zu großes Risiko. So ist bei vorzeitigen Geburtsbestrebungen, schwangerschaftsinduzierten hypertensiven Erkrankungen und Blutungen die körperliche Schonung vorrangig (77)

Weiters gibt es relative Kontraindikationen laut ACOG die in Tabelle 8 aufgelistet sind (77).

Relative Kontraindikationen für Sport in der Schwangerschaft
• Ausgeprägte Anämie • Ungeklärte mütterliche Herzrhythmusstörungen • Chronische Bronchitis • Schlecht eingestellter Diabetes Mellitus • Extremes Übergewicht • Extremes Untergewicht (BMI<12) • Bis vor der Schwangerschaft sehr unsportlicher Lebensstil • Wachstumsretardierung in der momentanen Schwangerschaft • Schlecht eingestellte arterielle Hypertonie • Orthopädische Vorerkrankungen • Schlecht eingestellte epileptische Erkrankungen • Schlecht eingestellte Schilddrüsenerkrankung • Starkes Rauchen

Tabelle 8: Relative Kontraindikationen für Sport in der Schwangerschaft (77)

Abschließend empfiehlt das ACOG während sportlicher Betätigung auf gewisse Warnsymptome zu achten, die eine sofortige Beendigung des Sports und eine ärztliche Kontrolle zur Folge haben sollten. Hierzu gehören (77):

Warnsymptome, die zur Beendigung des Trainings führen sollten
• Vaginale Blutungen • Dyspnoe aufgrund der Anstrengung • Schwindel • Kopfschmerzen • Brustschmerzen • Muskelschwäche • Anschwellen oder Schmerzen der Extremitäten • Vorzeitige Wehen • Verminderte Kindsbewegungen • Vorzeitiger Blasensprung

Tabelle 9: Alarmierende Hinweiszeichen, die zu einer sofortigen Beendigung der sportlichen Aktivität führen sollen (77)

Die meisten im Ergebnisteil vorgestellten Studien hielten sich an diese Richtlinien. Allerdings gab es auch einige, die diese Richtlinien weit überschritten. Dennoch konnten keine negativen Auswirkungen gezeigt werden.

5 Diskussion

Sucht man nach Studien zu Sport in der Schwangerschaft und vor allem nach Studien, die Auswirkungen von sportlicher Belastung auf Fetus und Plazenta beinhalten, wird einem mit fortschreitender Vertiefung bewusst, dass die überwiegende Mehrzahl der Studien vorwiegend Auswirkungen auf die Mutter untersuchen. Hierzu gibt es viele konkrete Aussagen über die positiven Auswirkungen von Sport in der Schwangerschaft. Bei Studien, die vor allem Fetus und Plazenta untersuchen, gibt es meist kontroverse Meinungen, die oftmals schwierig zu beurteilen sind.

Studien mit schwangeren Frauen bringen naturgemäß Probleme und Limitationen mit sich. Zusätzlich sind sportartspezifische Anforderungen schwer einzuordnen. In den aufgezeigten Studien gibt große Unterschiede in den Beurteilungskriterien bezüglich Sportart, Intensität, Dauer und Häufigkeit. Das macht Vergleiche und Auswertungen schwierig. Ebenso wirken sich die unterschiedlichen Trainingslevels der Frauen vor der Schwangerschaft verzerrend auf die Studienergebnisse aus, deshalb kritisierten Morris & Johnson (1) die Zusammensetzung der Kontrollgruppen. Diese reicht von gänzlich unспортlichen Frauen, über Frauen, die nur während der Schwangerschaft sportlich inaktiv wurden, bis hin zu Frauen, die zwar kontinuierlich weiter Sport betrieben, jedoch den Trainingslevel der Studienteilnehmerinnen nicht erreichten. Ein direkter Vergleich scheint hier unmöglich.

Es gibt laut Morris & Johnson (1) viele systematische Fehler, oder auch Bias genannt, die in die ausgewerteten Studien mit einfließen. Sehr viele Studien basieren auf der Selbst-Berichterstattung, die erhebliche Ungenauigkeiten und Fehler mit sich bringen kann. Fehler bei der Auswahl der Studienteilnehmerinnen passieren aufgrund der freiwilligen Teilnahme der Frauen an den Studien. Frauen, die solchen Studien zustimmen, haben meist ein ausgeprägtes Körperbewusstsein und einen affirmativen Bezug zu ihrer Gesundheit und ihren Essgewohnheiten. Diese Gegebenheiten nehmen massiv Einfluss auf den Studienausgang. Weiters stammten die meisten Frauen aus einer mittleren bis höheren sozioökonomischen Schicht, waren gut ausgebildet und arbeiteten meist außerhalb des Haushaltes. Diese Variablen machen es schwierig, Ergebnisse einer Studie für die gesamte Population zu generalisieren.

Im folgenden Diskussionsteil wird einzeln auf die thematisch geordneten Studien im Vergleich zueinander eingegangen.

5.1 *Auswirkungen auf das Herz Kreislauf System*

5.1.1 Uteriner und plazentarer Blutfluss

In allen splanchnischen Organen vermutete man eine Vasokonstriktion während sportlicher Aktivität, daher wurde der uterine Blutfluss im Verlauf der körperlichen Betätigung in sehr vielen Studien als Referenz für die Versorgung des Feten definiert. Dabei darf nicht vergessen werden, dass es während der Schwangerschaft zu einem erhöhten Blut- und Schlagvolumen kommt und dies als Kompensationsmechanismus für eine suffiziente Durchblutung während körperlicher Aktivität dient.

Die Ergebnisse der Studien waren relativ einheitlich. Während der körperlichen Belastung kommt es zu einer Steigerung des uteroplazentaren Widerstandes (17, 21) und dadurch zu einer Senkung des uterinen Blutflusses. Es konnte bei beiden Studien (17, 21) trotz Senkung des uterinen Blutflusses keine Veränderung des umbilicalen Blutflusses aufgezeichnet werden. Dies lässt auf einen Kompensationsmechanismus schließen. Die Hypothese eines Kompensationsmechanismus konnten Clapp et al. (18) durch ihre Studie unterstützen. Jackson et al. (19) konnten mittels der Analyse von Plazenten ein gesteigertes Plazentavolumen bei sporttreibenden Müttern nachweisen. Durch Training in der Frühschwangerschaft kam es zu einer vermehrten Stimulation des Plazentawachstums. Dies äußert sich in einem gesteigerten Plazentaparenchymvolumen, einem gesteigerten vaskulären Volumen und einer Steigerung der villösen Oberfläche der Plazenta. All diese Mechanismen tragen dazu bei, dass die Versorgung des Feten während körperlicher Aktivität trotz eventueller Verminderung des Blutflusses in der A. uterina gesichert wird. Dies bewies Clapp et al. (16) mit einer weiteren Studie, die keine Veränderungen im fetalen Erythropoietinspiegel trotz mütterlicher Aktivität in der Schwangerschaft zeigen konnten.

Nicht alle Studien konnten diese Ergebnisse unterstützen. Rafla et al. (20) konnten in ihrer Studie keine Veränderung des uterinen Blutflusses feststellen. Grund dafür könnte die Kürze (5 Minuten) der gemessenen Belastung sein.

Jeffreys et al. (22) untersuchten eine allen anderen Studien völlig konträre sportliche Aktivität. Durch die Rückenlage, in der sie Übungen durchführen ließen, war das Ergebnis nachvollziehbar. Es kam zu einer größeren Senkung des uterinen Blutflusses bei ruhigem Liegen auf dem Rücken. Durch Bewegung besserte sich diese Situation. Laut den Autoren kam es zu einer uterinen vasokonstriktiven Antwort aufgrund der Senkung des venösen Rückstroms (Kompression der Venen in Rückenlage) und dadurch zu einem geringeren Auswurf, der die beobachtete Vasokonstriktion hervorruft.

Keine Veränderung konnte in der Studie von Ertan et al. (23) gezeigt werden. Erstaunlich war, dass bei IUGR (intra uterine growth restriction) Feten im Vergleich zu AGA (appropriate for gestational age) Feten keine Veränderungen im uterinen Blutfluss messbar waren. Mangelversorgung als Grund der intrauterinen Wachstumsverzögerung konnte bei diesen Studienteilnehmerinnen ausgeschlossen werden.

Folglich lässt sich festhalten, dass es bei submaximalen Belastungen zu keiner wesentlich bedrohlichen Senkung des uterinen Blutflusses kommt und somit die Versorgung des Feten aufgrund der Kompensationsmechanismen nicht gefährdet ist.

5.1.2 Hyperthermie

Verschiedene Studien mit unterschiedlichen Sportarten wurden betreffend der Hyperthermie während sportlicher Betätigung in der Schwangerschaft durchgeführt. Keine dieser Studien konnte wesentliche Probleme oder Schädigungen des Feten verzeichnen. Dies liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit daran, dass in keiner der Studien Belastungen erreicht wurden, bei denen ein Temperaturanstieg über 38°C möglich war. Keine dieser Studien untersuchte das Temperaturverhalten bei maximalen Belastungen. Trotzdem konnte gezeigt werden, dass die Veränderung der Körperkerntemperatur von der Intensität und der Dauer der Belastung abhängig ist (25). Die höchste Belastung verzeichneten Lindqvist et al. (30) mit 85% der maximalen HF. Dabei kam es zu einem in mehreren Studien (27, 29, 30) beschriebenen Abfall der rektalen Temperatur während körperlicher Betätigung im Verlauf vor, während und nach der Schwangerschaft. Das heißt, dass der

maximale Temperaturwert, der während der Belastung erreicht wird, vor der Schwangerschaft höher ist als während der Schwangerschaft. So kam es in der Studie von Clapp et al. (27) bis zur 7.SSW zu einem Abfall der Temperatur um 0,3°C und weiter folgend die gesamte Schwangerschaft zu einem Abfall von 0,1°C pro Monat. Dies lässt sich vor allem durch die kontinuierlichen Messungen die gesamte Schwangerschaft hindurch belegen. Es muss jedoch bedacht werden, dass die Studie eine relativ geringe Teilnehmerinnenzahl aufweist. Dies muss bei allen hier angeführten Studien berücksichtigt werden. Die durchgehend geringe Teilnehmerinnenzahl lässt keine Rückschlüsse auf die Allgemeinheit zu.

Scheinbar gibt es einige physiologische Kompensationsmechanismen, die den Feten vor zu hoher Temperatur schützen. Dies wurde in zahlreiche Studien (26, 27, 30, 78) vermutet. Die Wärmeabgabe dürfte durch das vermehrte Blutvolumen (79) in der Schwangerschaft verändert sein. Der Schweißproduktionsschwellenwert (27, 28) und die Ruhetemperatur (27) sind deutlich herabgesetzt. Die Gewichtszunahme trägt ebenfalls ihren Teil dazu bei (27). Es gibt auch Tierstudien (80) mit Schafen, bei denen gezeigt werden konnte, dass der Anstieg der fetalen Temperatur während körperlicher Anstrengung signifikant geringer war als der der Mutter. Dadurch wurde vermutet, dass es einen transplazentaren fetal-maternalen Temperaturgradienten gibt (80). Die physiologischen Vorteile, Sport im Wasser durchzuführen, wurden bestätigt, denn sie führen zu einer erleichterten Wärmeabgabe im Vergleich zu Sport an Land (28, 78).

Es lässt sich zusammenfassen, dass alle hier untersuchten Studien keine negativen Effekte auf das Kind zeigen konnten. Somit ist aus Sicht der Hyperthermieforschung keine Kontraindikation für moderate sportliche Betätigung aller gesunden schwangeren Frauen gegeben.

5.1.3 Fetale Herzfrequenz

Die fetale Herzfrequenz ist eine leicht zu erfassende Größe, die Rückschlüsse auf das Befinden des Feten zulässt. Es gibt sehr viele Studien, die den Verlauf der FHF während körperlicher Belastung untersuchten. Dabei ergaben sich unterschiedliche Ergebnisse, die von der fetalen Bradykardie (21, 34, 37), über keinerlei Auswirkungen (67) bis hin zur Steigerung der FHF (31-33, 36-41) reichten. Diese Unterschiede basieren vor allem auf

den unterschiedlichen Intensitätsbereichen und der Dauer der körperlichen Belastungen. Weiters sind die unterschiedlichen Sportarten und Trainingslevels der Probandinnen zu berücksichtigen.

Bei Studien (21, 34, 37), in denen fetale Bradykardieepisoden beobachtet wurden, lag die sportliche Belastung der Probandinnen jeweils an der maximal möglichen Trainingsintensität. Dabei kam es bei Carpenter et al. (34) in der Aufwärmphase im submaximalen Bereich zu keiner Änderung der FHF. Watson et al. (21) erklärten die Senkung der FHF bei maximaler Belastung durch die Erhöhung des uteroplazentaren Widerstandes mit darauf folgender Senkung des Blutflusses in der A. uterina. Dies führte zu der nur kurz andauernden (< 2 Minuten) starken Senkung der FHF, die allerdings an Land höher war als im Wasser. Manders et al. (37) konnten wie Carpenter et al. (34) ebenfalls den Zusammenhang zwischen moderater Belastung und Steigerung der FHF, sowie maximaler Belastung und Senkung der FHF zeigen. Sie konnten zwei bradykarde Episoden nach der Belastung beobachten. Als großen Nachteil beschrieben die Autoren, dass eine Messung der FHF meist nur nach und nicht während der Belastung möglich war, da die Artefakte während der Belastung zu groß waren.

Es konnten keine nachteiligen Effekte trotz fetaler Bradykardien (34) gezeigt werden. Dieses Ergebnis könnte darauf hindeuten, dass die nach maximaler Belastung beobachteten fetalen Bradykardien eher das Resultat der Senkung des mütterlichen kardialen Auswurfs nach der Belastung sind und nicht eine fetale Hypoxie darstellen (1).

Die meisten Studien (31-33, 36-41) verzeichneten einen Anstieg der FHF während und nach der Belastung. Fast alle Studien bewegten sich in dem submaximalen Trainingsbereich mit rund 70% der VO_{2max} . Nur MacPhail et al. (36) reizten die maximale Leistungsfähigkeit der Frauen aus. Dabei stellte sich eine Steigerung der Grundlinie der FHF heraus. Die Häufigkeit der Akzelerationen sank ab und die HRV war vermindert. MacPhail et al. (36) stellten somit fest, dass kurze maximale Belastungen für die Forschung oder zu diagnostischen Zwecken durchaus zumutbar für den Feten sind. Da die Auswirkungen von maximalen Belastungen noch nicht ausreichend erforscht sind, sollte laut dieser Studie der Forschung in diese Richtung nichts mehr im Wege stehen, solange die Belastung nicht lange andauert.

Hypothesen (1) für den Grund des FHF Anstiegs gibt es mehrere. Da wäre einerseits die Möglichkeit, dass der Fetus durch die Aktivität der Mutter vom schlafenden Zustand in einen wachen Zustand versetzt wird, oder dass der Transfer von mütterlichen Katecholaminen, die während des Sports ausgeschüttet werden und durch die Plazenta zum Feten gelangen, einen Anstieg der HF auslöst. Es könnte sich aber auch um einen milden, vorübergehenden fetalen Stress handeln, der sich durch den HF Anstieg bemerkbar macht. Clapp et al. (31) glauben, dass der HF Anstieg als Reaktion auf die Verringerung des PO₂ während körperlicher Belastung zurückzuführen ist. Dieser Abfall des PO₂ bedingt eine sympathische Antwort (81) des Feten, die sich mittels eines Anstiegs der HF äußert.

Ähnlich wie beim Erwachsenen kann es auch beim Feten zu einem Trainingseffekt kommen. May et al. (35) konnten in ihrer ersten Studie zeigen, dass durch kontinuierliche körperliche Betätigung während der Schwangerschaft die Grundherzfrequenz der Feten gesenkt werden kann. Zusätzlich kam es zu einem Anstieg der HRV. Beim Erwachsenen zeigt sich eine höhere Anpassungsfähigkeit an Belastungen durch eine größere Variabilität der Herzfrequenz. Trotzdem könnten die Anpassungserscheinungen beim Feten dadurch erklärt werden. Mit der zweiten Studie von May et al. (42) wurde die erste bestätigt. Bedenken muss man allerdings, dass für einen Teil dieser Studie (42) Daten aus Fragebögen akquiriert wurden und jedenfalls eine potentielle Fehlerquelle darstellen.

Ein Nachteil älterer Studien ist die eingeschränkte Aufzeichnung der FHF, die nur vor bzw. nach und nicht während der Belastung durchgeführt werden konnte. Um den Verlauf der FHF während der sportlichen Aktivität zu beurteilen, wären neuere Studien notwendig, die sich moderner technologischer Instrumente bedienen.

Es lässt sich zusammenfassen, dass es unter submaximaler Belastung in keiner Studie zu Dezelerationen kam. Damit scheint der Fetus bei diesem Intensitätslevel nicht gefährdet zu sein. Grundsätzlich ist also der Intensitätslevel der körperlichen Belastung entscheidend für die Auswirkungen auf die FHF.

5.2 Auswirkungen auf den Stoffwechsel

5.2.1 Fetales Größenwachstum

Daten zum fetalen Größenwachstum sind sehr unterschiedlich und kontrovers. Teils belegen Studien, dass es durch körperliche Betätigung zu einer Verminderung des fetalen Wachstums kommt (51, 55, 57, 58). Teils unterstützen Studien wiederum die Annahme, dass es zu einem Anstieg des fetalen Gewichts kommt (52). Einige Studien halten je nach Intensität der Trainingsbelastung einen Anstieg oder eine Verminderung des Geburtsgewichts fest (49, 54). Es wurden Studien publiziert, die keine Auswirkung auf das Geburtsgewicht ableiten konnten (50, 53, 56). Zu diesem Thema wurden Metaanalysen (48, 82, 83) erstellt. Es konnten keine signifikanten Unterschiede im Fetalgewicht mit oder ohne sportliche Aktivität nachgewiesen werden. Es wurde festgestellt, dass die meisten Trainingsprogramme der Studien die Richtlinien des ACOG überschritten (48). Trotzdem konnten keine negativen Effekte gezeigt werden. Hatch et al. (54) wirft die Frage auf, ob die Richtlinien des ACOG für gut konditionierte Frauen mit Niedrigrisikoschwangerschaften nicht zu streng formuliert worden sind?

Die Auswertung der Studien ergibt, dass in jenen Studien (51, 55, 57, 58) die eine Abnahme des Geburtsgewichts verzeichnen, die Probandinnen mit höheren Intensitäten belastet wurden und bis ins dritte Trimenon Sport betrieben. Diesen Gedankengang unterstützen auch Leet et al. (82) die in ihrer Metaanalyse eine statistisch signifikante Reduktion des Geburtsgewichts um 200g - 400g unter exzessiver Belastung im dritten Trimenon registrierten. Clapp et al. (51) konnten zusätzlich eine asymmetrische Größenreduktion der Feten zeigen und führten dieses Ergebnis auf eine Reduktion der neonatalen Fettmasse zurück.

Frauen, die ein kontinuierliches und moderateres Trainingsprogramm (49, 52, 54) durchliefen, verzeichneten meist ein höheres Geburtsgewicht bei ihren Kindern im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Dies lässt sich durch das vermehrte Wachstum der Plazenta in der Frühschwangerschaft bei entsprechender sportlicher Betätigung erklären. Andererseits begannen Frauen in einer Studie (52) erst während der Schwangerschaft ein Trainingsprogramm, was den sportlichen Effekt beeinträchtigte.

Hopkins & Cutfield (89) konnten in ihrem systematischen Review zeigen, dass der Zeitpunkt an dem die sportliche Betätigung in der Schwangerschaft begonnen bzw. abgebrochen wird einen wesentlichen Einfluss auf das Geburtsgewicht nimmt. Eine Zusammenfassung dieses Artikels findet sich in Abbildung 6.

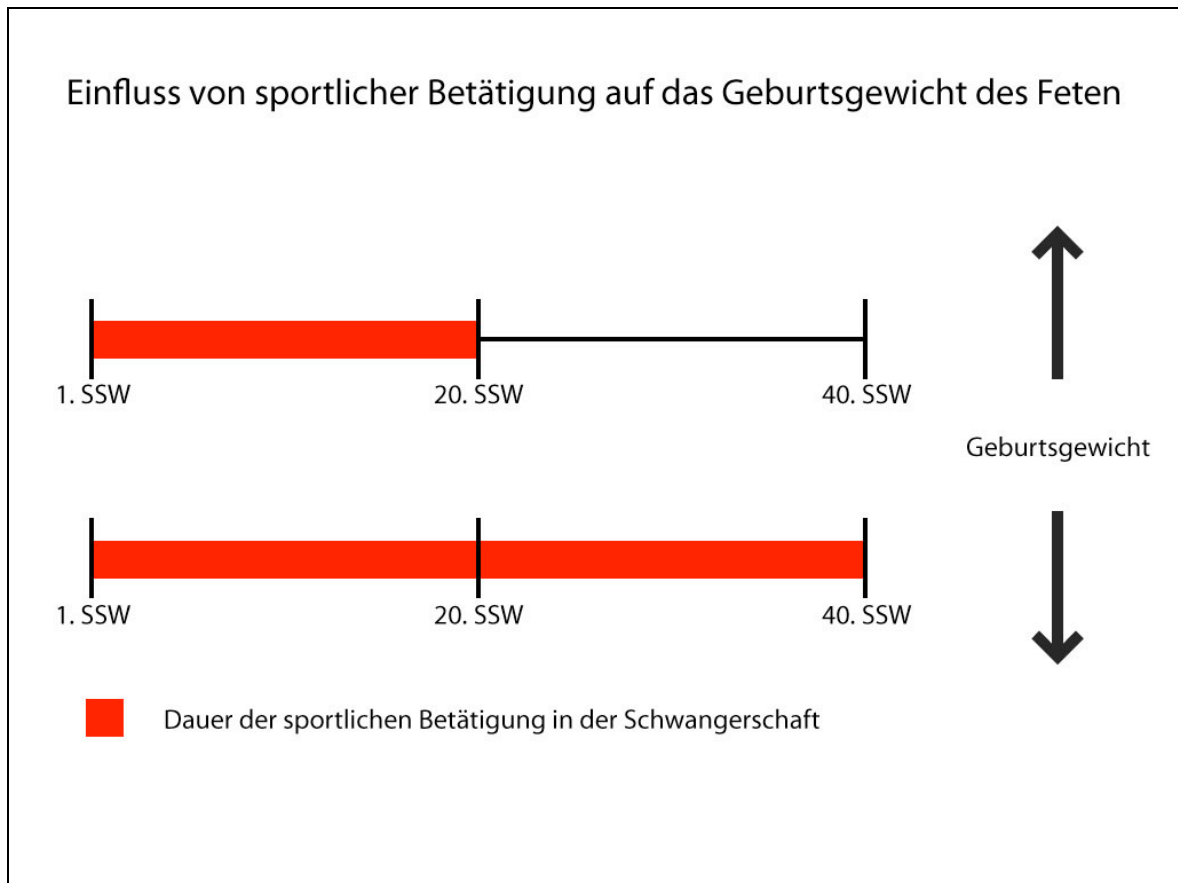


Abbildung 6: Einfluss von sportlicher Betätigung auf das Geburtsgewicht des Feten, eigener Entwurf nach Hopkins & Cutfield (89)

Wird der sportlichen Betätigung ab der ersten Schwangerschaftswoche nachgegangen, wird das Plazentawachstum stimuliert. Kommt es ab der Halbzeit der Schwangerschaft zu einer Reduktion oder zu einem Abbruch der körperlichen Ertüchtigung, steigt das Geburtsgewicht aufgrund des erhöhten Substratangebotes. Bei mäßig bis hoher körperlicher Belastung durch die gesamte Schwangerschaft hindurch, kann man eine Reduktion des Geburtsgewichtes beobachten. Diese Beobachtungen treffen allerdings nicht auf alle Studien zu da wiederum einige Variablen mit berücksichtigt werden müssen, die die Ergebnisse beeinträchtigen können. Es scheint, dass sportliche Betätigung in der zweiten Schwangerschaftshälfte von Bedeutung ist, um das Geburtsgewicht zu senken. Diese Erkenntnis sollte vor allem bei übergewichtigen Müttern zu tragen kommen, deren Kinder bereits im Mutterleib ein erhöhtes Risiko späterer Adipositas entwickeln (89).

Zwei Studien (49, 54) zeigten den mehrfach beschriebenen intensitätsabhängigen Verlauf des Geburtsgewichtes.

Die Unterschiede in den Studien könnten verschiedene Ursachen haben (1). Wie schon zuvor in der Diskussion erwähnt, ist Sport nicht gleich Sport. Im Falle des fetalen Geburtsgewichts muss zwischen der Sportart, der Intensität und der Dauer der sportlichen Belastung unterschieden werden. Genauso müssen die mütterlichen Faktoren mit berücksichtigt werden. Es existieren unterschiedliche Fitnesslevels der Mütter vor der Schwangerschaft und verschiedene Essgewohnheiten. So stimuliert z.B. ein hoher Kohlenhydratanteil in der Nahrung das fetoplazentare Wachstum, wogegen ein niedriger Anteil das Wachstum verlangsamt (84). Die maternalen Maße (Größe, Gewicht) spielen genauso eine Rolle, wie die Gewichtszunahme während der Schwangerschaft. Die fetalen Einflussgrößen, wie der Schwangerschaftszeitpunkt in dem das Training begonnen bzw. beendet wird, sind wichtige Determinanten, die mit berücksichtigt werden müssen. Diese Auflistung begründet die teilweise inkonstanten Werte des fetalen Größenwachstums in den besprochenen Studien.

Relative Einigkeit herrscht allerdings beim Risiko für Feten mit intrauteriner Wachstumsverzögerung (IUGR) oder für zu große (LGA) Feten. Mehrere Studien (48, 57, 82, 83) belegen ein vermindertes Risiko für IUGR und LGA Feten. Weiters betonen sie, dass durch sportliche Aktivität ein Kind mit größerer Wahrscheinlichkeit mit durchschnittlichen Maßen (AGA) auf die Welt kommt.

Ein weiterer erheblicher Diskussionspunkt in diesem Fall ist die Studienart, die gewählt wurde. Diese reicht von Kohortenstudien, über Fall Kontroll Studien bis hin zu randomisierten kontrollierten Studien. Die unterschiedlichen Studienarten machen einen Vergleich schwierig. Daten, die durch Interviews persönlich oder telefonisch eingeholt wurden, sind immer mit Fehlerquellen behaftet und entsprechen oft nicht der Realität. Auch diese Abweichungen sollte man beachten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es keine gänzlich einheitliche, über mehrere Studienreihen reichende, vergleichbare Daten zum fetalen Größenwachstum gibt. Einzig der Zeitpunkt an dem die sportliche Betätigung in der Schwangerschaft stattfindet, findet einen einheitlichen Konsens. Weiters wird im Großteil der Studien bestätigt, dass

sportliche Aktivität keinen gravierend negativen Einfluss auf das Wachstum des ungeborenen Kindes hat.

5.2.2 Energiebereitstellung und Hormonveränderungen

Bei nicht schwangeren Frauen kommt es mit steigender Belastungsintensität zu einem linearen Anstieg der Blutglucosekonzentration. Den gleichen Effekt erwartete man sich bei schwangeren Frauen. Das Ergebnis war allerdings ganz anders. Man fand in allen drei Studien (47, 59, 60) ein Absinken des Glucosespiegels vor allem im dritten Trimenon. Somit kommt es in der Schwangerschaft zu einer gegenteiligen Blutzuckerantwort im Vergleich zu nicht Schwangeren (59). Clapp et al. (59) konnten das kontinuierliche Absinken des Glucosespiegels in ihrer Studie zeigen. Im ersten Trimenon kam es nur mehr zu einem geringen Anstieg des Blutzuckers unter Belastung. Je weiter die Schwangerschaft fortschritt, desto schlechter wurde die Glucose Antwort. In der 23 SSW kam es schließlich zu einer Senkung des Glucosewertes während körperlicher Aktivität. Diese Antwort blieb unabhängig von der Intensität der Belastung. Laut Clapp et al. (59) könnte es zu diesem Ergebnis aufgrund der verminderten hepatischen Glucosebereitstellung und der vermehrten Glucose Oxidation kommen, da in der Schwangerschaft ein erhöhter Bedarf (Arbeitsmuskulatur, fetoplazentare Einheit) an Glucose besteht.

Es konnte gezeigt werden, dass die Insulinsensitivität durch körperliche Belastung gesteigert werden kann (47, 60). Andererseits zeigt die Studie von Hopkins et al. (58) keine Auswirkung auf die Insulinsensitivität. Trotz allem kann Training die relative in manchen Schwangerschaften bestehende Insulinresistenz reduziere. Daher wird heutzutage sportliche Aktivität in das therapeutische Schema des Gestationsdiabetes mit einbezogen (85).

5.3 Auswirkungen auf die Geburt

Die interessante mütterliche Komponente umfasst die Geburt. Da die medizinische Meinung vorherrschte, dass sportliche Aktivität mit einem vermehrten Frühgeburtenrisiko einherginge, wurden einige Studien zu dieser Thematik verfasst. Alle Studien (32, 43, 48, 61-65) kamen zu dem Schluss, dass es keinen Nachweis für diese Behauptung gibt. Damit

wurde bestätigt, dass es weder ein erhöhtes Frühgeburtsrisiko, noch eine vermehrt anstrengende Geburt durch körperliche Aktivität gibt.

Bei der Geburtsdauer an sich gibt es Unterschiede bei den Studien zu vermerken. Während Clapp et al. (61) eine Verkürzung der Geburt und einige weitere Studien (48, 62, 86) eine verkürzte erste und zweite Phase der Geburt beschreiben, verzeichnen Rice & Fort (64) bei ihrer Studie eine Verlängerung der Geburtsphasen. Um diese Studien vergleichen zu können, müsste zuerst definiert werden, wann genau eine Geburt für die Forscher beginnt (Einsetzen der Wehen, Blasensprung, etc.). Weiters müsste unterschieden werden, ob es sich um Primiparas oder Multiparas handelt, da meist der Geburtsverlauf bei Primiparas verlängert ist.

In den Studien konnten sehr viele Vorteile von körperlicher Aktivität auf den Geburtsverlauf aufgezeigt werden. Sportliche Frauen haben mehr spontane, komplikationslose vaginale Geburten (62, 67) und eine geringere Inzidenz an Kaiserschnitten und Forceps Entbindungen (61, 67). Zusätzlich wurde auch weniger Oxytocin während der Geburt benötigt (62). Aktive Frauen gaben außerdem geringere Anstrengungen bei der Geburt an (64).

Das fetale Wohlbefinden nach der Geburt wurde mittels der Analyse der Apgar Scores untersucht. Es gab keine negativen Effekte bei den ein bzw. fünf Minuten Apgar Scores zu verzeichnen (39, 48, 62, 64, 83, 87). Manche beobachteten sogar bessere Apgar Scores aktiver Mütter im Vergleich zu inaktiven Müttern (61, 64, 67).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass Frauen mit hohem Aktivitätslevel in der Schwangerschaft während der Geburt davon profitieren.

5.4 Langzeitauswirkungen

Die Langzeitauswirkungen von sportlicher Aktivität in der Schwangerschaft auf das restliche Leben des Kindes sind sehr schwierig festzustellen. Studien dieses Thema betreffend sind rar. Trotzdem konnten einige Zusammenhänge gezeigt werden.

Clapp et al. konnten mit ihren Studien zeigen, dass sportliche Aktivität keinen negativen Effekt auf die neurologische und körperliche Entwicklung im ersten und fünften Lebensjahr hat (74, 75). Weiters konnte er ein besseres neurologisches Verhaltensmuster der Neugeborenen nach der Geburt zeigen (73). Welchen Langzeiteffekt diese Ergebnisse hatten, geht leider aus der Studie nicht hervor. Weitere Studien zu diesem Thema werden angeregt.

Die Frage, ob es eine Korrelation zwischen erhöhtem Geburtsgewicht und späterer Adipositasneigung gibt, beschäftigte einige Forscher. Die Studien zeigten (88), dass large for gestational age (LGA) Babies ein größeres Risiko für Übergewicht in der Kindheit (69), in der Pubertät (70) und im Erwachsenenalter (71) haben.

Oken (68) berichtete ebenfalls über das erhöhte Risiko für Adipositas, kardiovaskulären und metabolischen Erkrankungen von LGA Babies. Vorrangig ist die Erkenntnis, dass mit einem erhöhten Risiko kein wirkliches Eintreten von Erkrankungen einhergeht. Um das vielleicht schon seit der Geburt erhöhte Risiko für solche Erkrankungen zu minimieren, ist in vielen Fällen ein adäquates Bewegungsprogramm bereits im Kindesalter mitunter das Richtige und sollte auch so kommuniziert werden.

Es wäre ein Trugschluss anzunehmen, dass moderate körperliche Aktivität in der Schwangerschaft vermieden werden sollte, da das Geburtsgewicht in manchen Studien erhöht war. Um diesem Missverständnis vorzubeugen, muss man sorgsam zwischen LGA Babies (>90. Perzentile) und einer Erhöhung des Geburtsgewichts bei sportlich aktiven Schwangeren im Vergleich zur Kontrollgruppe unterscheiden. Es handelt sich dabei meist um möglicherweise signifikante Unterschiede, trotzdem liegen die Babies in der normalen Geburtsgewichtspersentile.

6 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse unterscheiden sich in gewissen Punkten gravierend, wobei auf den Schwangerschaftszeitpunkt, die Dauer, die Intensität der sportlichen Betätigung und das Trainingslevel der Schwangeren Rücksicht genommen werden muss. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich submaximale sportliche Belastungen (75% VO₂max) in keiner Weise negativ auf Fetus oder Plazenta auswirken. Grund dafür sind zahlreiche Kompensationsmechanismen, die eine adäquate Versorgung der Feten während der Belastung gewährleisten. Der maximale Leistungsbereich ist noch in zu geringem Maße Gegenstand der aktuellen Forschung. Um eine sichere Empfehlung in diese Richtung geben zu können, sind weitere Studien unverzichtbar.

7 Literaturverzeichnis

- (1) Morris SN, Johnson NR. Exercise during pregnancy: a critical appraisal of the literature. J Reprod Med 2005 Mar;50(3):181-188.
- (2) Leichtweiß H-P, Schröder H J Sexualfunktion, Schwangerschaft und Geburt. In: Klinke R, Silbernagl S editors. Lehrbuch der Physiologie. 4 Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2003.
- (3) Stauber M, Weyerstahl T. Duale Reihe - Gynäkologie und Geburtshilfe. 3 Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2007.
- (4) Engelhardt M, Neumann G. Sportmedizin Grundlagen für alle Sportarten. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH; 1994.
- (5) Huppelsberg J, Walter K. Kurzlehrbuch Physiologie. 3 Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005.
- (6) Silbernagl S, Despopoulos A. Taschenatlas der Physiologie. 7 Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2007.
- (7) Ahonen J, Lahtinen T, Sandström M, Pogliani G. Sportmedizin und Trainingslehre. 2 Auflage ed. Stuttgart: Schattauer GmbH; 2003.
- (8) Klinke R, Pape H, Silbernagl S. Physiologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005.
- (9) Ulfing N. Kurzlehrbuch Embryologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005.
- (10) Martius G, Ewerbeck H, Kaiser R, Kuhn W, Wulf K. Lehrbuch der Geburtshilfe. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1981.
- (11) Sadler TW. Medizinische Embryologie. 10. Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2003.
- (12) Heipertz W, Böhmer D. Sportmedizin Einführung für Ärzte, Lehrer, Trainer, Studenten und Sportler. 6 Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1980.

- (13) Kagan KO, Kuhn U. Sport und Schwangerschaft. *Herz* 2004;29(4):426-434.
- (14) Laughlin M. Cardiovascular response to exercise. *Am J Physiol* 1999 Dec;277(6):244-259.
- (15) Nesbitt AE, Murphy RJ, O'Hagan KP. Effect of gestational stage on uterine artery blood flow during exercise in rabbits. *J Appl Physiol* 2005 Dec;99(6):2159-2165.
- (16) Clapp JF,3rd, Little KD, Appleby-Wineberg SK, Widness JA. The effect of regular maternal exercise on erythropoietin in cord blood and amniotic fluid. *Am J Obstet Gynecol* 1995 May;172(5):1445-1451.
- (17) Erkkola RU, Pirhonen JP, Kivijarvi AK. Flow velocity waveforms in uterine and umbilical arteries during submaximal bicycle exercise in normal pregnancy. *Obstet Gynecol* 1992 Apr;79(4):611-615.
- (18) Clapp JF,3rd, Rizk KH. Effect of recreational exercise on midtrimester placental growth. *Am J Obstet Gynecol* 1992 Dec;167(6):1518-1521.
- (19) Jackson MR, Gott P, Lye SJ, Ritchie JW, Clapp JF,3rd. The effects of maternal aerobic exercise on human placental development: placental volumetric composition and surface areas. *Placenta* 1995 Mar;16(2):179-191.
- (20) Rafla NM, Etokowo GA. The effect of maternal exercise on uterine artery velocimetry waveforms. *J Obstet Gynaecol* 1998 Jan;18(1):14-17.
- (21) Watson WJ, Katz VL, Hackney AC, Gall MM, McMurray RG. Fetal responses to maximal swimming and cycling exercise during pregnancy. *Obstet Gynecol* 1991 Mar;77(3):382-386.
- (22) Jeffreys RM, Stepanchak W, Lopez B, Hardis J, Clapp JF,3rd. Uterine blood flow during supine rest and exercise after 28 weeks of gestation. *BJOG* 2006 Nov;113(11):1239-1247.
- (23) Ertan AK, Schanz S, Tanriverdi HA, Meyberg R, Schmidt W. Doppler examinations of fetal and uteroplacental blood flow in AGA and IUGR fetuses before and after maternal physical exercise with the bicycle ergometer. *J Perinat Med* 2004;32(3):260-265.

- (24) Edwards MJ. Hyperthermia as a teratogen: a review of experimental studies and their clinical significance. *Teratog Carcinog Mutagen* 1986;6(6):563-582.
- (25) O'Neill ME. Maternal rectal temperature and fetal heart rate responses to upright cycling in late pregnancy. *Br J Sports Med* 1996 Mar;30(1):32-35.
- (26) McMurray RG, Berry MJ, Katz VL, Graetzer DG, Cefalo RC. The thermoregulation of pregnant women during aerobic exercise in the water: a longitudinal approach. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990;61(1-2):119-123.
- (27) Clapp JF,3rd. The changing thermal response to endurance exercise during pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 1991 Dec;165(6 Pt 1):1684-1689.
- (28) McMurray RG, Katz VL, Meyer-Goodwin WE, Cefalo RC. Thermoregulation of pregnant women during aerobic exercise on land and in the water. *Am J Perinatol* 1993 Mar;10(2):178-182.
- (29) Larsson L, Lindqvist PG. Low-impact exercise during pregnancy--a study of safety. *Acta Obstet Gynecol Scand* 2005 Jan;84(1):34-38.
- (30) Lindqvist PG, Marsal K, Merlo J, Pirhonen JP. Thermal response to submaximal exercise before, during and after pregnancy: a longitudinal study. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2003 Mar;13(3):152-156.
- (31) Clapp JF,3rd, Little KD, Capeless EL. Fetal heart rate response to sustained recreational exercise. *Am J Obstet Gynecol* 1993 Jan;168(1 Pt 1):198-206.
- (32) Webb KA, Wolfe LA, McGrath MJ. Effects of acute and chronic maternal exercise on fetal heart rate. *J Appl Physiol* 1994 Nov;77(5):2207-2213.
- (33) van Doorn MB, Lotgering FK, Struijk PC, Pool J, Wallenburg HC. Maternal and fetal cardiovascular responses to strenuous bicycle exercise. *Am J Obstet Gynecol* 1992 Mar;166(3):854-859.
- (34) Carpenter MW, Sady SP, Hoegsberg B, Sady MA, Haydon B, Cullinane EM, et al. Fetal heart rate response to maternal exertion. *JAMA* 1988 May 27;259(20):3006-3009.

- (35) May LE, Glaros A, Yeh HW, Clapp JF,3rd, Gustafson KM. Aerobic exercise during pregnancy influences fetal cardiac autonomic control of heart rate and heart rate variability. *Early Hum Dev* 2010 Apr;86(4):213-217.
- (36) MacPhail A, Davies GA, Victory R, Wolfe LA. Maximal exercise testing in late gestation: fetal responses. *Obstet Gynecol* 2000 Oct;96(4):565-570.
- (37) Manders MA, Sonder GJ, Mulder EJ, Visser GH. The effects of maternal exercise on fetal heart rate and movement patterns. *Early Hum Dev* 1997 May 28;48(3):237-247.
- (38) Brenner IK, Wolfe LA, Monga M, McGrath MJ. Physical conditioning effects on fetal heart rate responses to graded maternal exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1999 Jun;31(6):792-799.
- (39) Collings CA, Curet LB, Mullin JP. Maternal and fetal responses to a maternal aerobic exercise program. *Am J Obstet Gynecol* 1983 Mar 15;145(6):702-707.
- (40) Collings C, Curet LB. Fetal heart rate response to maternal exercise. *Am J Obstet Gynecol* 1985 Feb 15;151(4):498-501.
- (41) Katz VL, McMurray R, Goodwin WE, Cefalo RC. Nonweightbearing exercise during pregnancy on land and during immersion: a comparative study. *Am J Perinatol* 1990 Jul;7(3):281-284.
- (42) May LE, Suminski RR, Langaker MD, Yeh HW, Gustafson KM. Regular Maternal Exercise Dose and Fetal Heart Outcome. *Med Sci Sports Exerc* 2012 Jan 3.
- (43) Winn HN, Hess O, Goldstein I, Wackers F, Hobbins JC. Fetal responses to maternal exercise: effect on fetal breathing and body movement. *Am J Perinatol* 1994 Jul;11(4):263-266.
- (44) Platt LD, Artal R, Semel J, Sipos L, Kammula RK. Exercise in pregnancy. II. Fetal responses. *Am J Obstet Gynecol* 1983 Nov 1;147(5):487-491.
- (45) Riemann MK, Kanstrup Hansen IL. Effects on the foetus of exercise in pregnancy. *Scand J Med Sci Sports* 2000 Feb;10(1):12-19.

- (46) Clapp JF,3rd, Capeless EL. The changing glycemic response to exercise during pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 1991 Dec;165(6 Pt 1):1678-1683.
- (47) Bonen A, Campagna P, Gilchrist L, Young DC, Beresford P. Substrate and endocrine responses during exercise at selected stages of pregnancy. *J Appl Physiol* 1992 Jul;73(1):134-142.
- (48) Lokey EA, Tran ZV, Wells CL, Myers BC, Tran AC. Effects of physical exercise on pregnancy outcomes: a meta-analytic review. *Med Sci Sports Exerc* 1991 Nov;23(11):1234-1239.
- (49) Bell RJ, Palma SM, Lumley JM. The effect of vigorous exercise during pregnancy on birth-weight. *Aust N Z J Obstet Gynaecol* 1995 Feb;35(1):46-51.
- (50) Bell R, Palma S. Antenatal exercise and birthweight. *Aust N Z J Obstet Gynaecol* 2000 Feb;40(1):70-73.
- (51) Clapp JF,3rd, Capeless EL. Neonatal morphometrics after endurance exercise during pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 1990 Dec;163(6 Pt 1):1805-1811.
- (52) Clapp JF,3rd, Kim H, Burciu B, Lopez B. Beginning regular exercise in early pregnancy: effect on fetoplacental growth. *Am J Obstet Gynecol* 2000 Dec;183(6):1484-1488.
- (53) Sternfeld B, Quesenberry CP,Jr, Eskenazi B, Newman LA. Exercise during pregnancy and pregnancy outcome. *Med Sci Sports Exerc* 1995 May;27(5):634-640.
- (54) Hatch MC, Shu XO, McLean DE, Levin B, Begg M, Reuss L, et al. Maternal exercise during pregnancy, physical fitness, and fetal growth. *Am J Epidemiol* 1993 May 15;137(10):1105-1114.
- (55) Campbell MK, Mottola MF. Recreational exercise and occupational activity during pregnancy and birth weight: a case-control study. *Am J Obstet Gynecol* 2001 Feb;184(3):403-408.
- (56) Haakstad LA, Bo K. Exercise in pregnant women and birth weight: a randomized controlled trial. *BMC Pregnancy Childbirth* 2011 Sep 30;11:66.

- (57) Juhl M, Olsen J, Andersen PK, Nohr EA, Andersen AM. Physical exercise during pregnancy and fetal growth measures: a study within the Danish National Birth Cohort. *Am J Obstet Gynecol* 2010 Jan;202(1):63.e1-63.e8.
- (58) Hopkins SA, Baldi JC, Cutfield WS, McCowan L, Hofman PL. Exercise training in pregnancy reduces offspring size without changes in maternal insulin sensitivity. *J Clin Endocrinol Metab* 2010 May;95(5):2080-2088.
- (59) Clapp JF,3rd, Capeless EL. The changing glycemic response to exercise during pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 1991 Dec;165(6 Pt 1):1678-1683.
- (60) Bonen A, Campagna PD, Gilchrist L, Beresford P. Substrate and hormonal responses during exercise classes at selected stages of pregnancy. *Can J Appl Physiol* 1995 Dec;20(4):440-451.
- (61) Clapp JF,3rd. The course of labor after endurance exercise during pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 1990 Dec;163(6 Pt 1):1799-1805.
- (62) Beckmann CR, Beckmann CA. Effect of a structured antepartum exercise program on pregnancy and labor outcome in primiparas. *J Reprod Med* 1990 Jul;35(7):704-709.
- (63) Klebanoff MA, Shiono PH, Carey JC. The effect of physical activity during pregnancy on preterm delivery and birth weight. *Am J Obstet Gynecol* 1990 Nov;163(5 Pt 1):1450-1456.
- (64) Rice PL, Fort IL. The relationship of maternal exercise on labor, delivery and health of the newborn. *J Sports Med Phys Fitness* 1991 Mar;31(1):95-99.
- (65) Barakat R, Stirling JR, Lucia A. Does exercise training during pregnancy affect gestational age? A randomised controlled trial. *Br J Sports Med* 2008 Aug;42(8):674-678.
- (66) Barakat R, Ruiz JR, Stirling JR, Zakynthinaki M, Lucia A. Type of delivery is not affected by light resistance and toning exercise training during pregnancy: a randomized controlled trial. *Am J Obstet Gynecol* 2009 Dec;201(6):590.e1-590.e6.
- (67) Hall DC, Kaufmann DA. Effects of aerobic and strength conditioning on pregnancy outcomes. *Am J Obstet Gynecol* 1987 Nov;157(5):1199-1203.

- (68) Oken E. Maternal and child obesity: the causal link. *Obstet Gynecol Clin North Am* 2009 Jun;36(2):361-77, ix-x.
- (69) Fisch RO, Bilek MK, Ulstrom R. Obesity and leanness at birth and their relationship to body habitus in later childhood. *Pediatrics* 1975 Oct;56(4):521-528.
- (70) Gillman MW, Rifas-Shiman S, Berkey CS, Field AE, Colditz GA. Maternal gestational diabetes, birth weight, and adolescent obesity. *Pediatrics* 2003 Mar;111(3):e221-6.
- (71) Sorensen HT, Sabroe S, Rothman KJ, Gillman M, Fischer P, Sorensen TI. Relation between weight and length at birth and body mass index in young adulthood: cohort study. *BMJ* 1997 Nov 1;315(7116):1137.
- (72) Barker DJ. The developmental origins of insulin resistance. *Horm Res* 2005;64 Suppl 3:2-7.
- (73) Clapp JF,3rd, Lopez B, Harcar-Sevcik R. Neonatal behavioral profile of the offspring of women who continued to exercise regularly throughout pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 1999 Jan;180(1 Pt 1):91-94.
- (74) Clapp JF,3rd, Simonian S, Lopez B, Appleby-Wineberg S, Harcar-Sevcik R. The one-year morphometric and neurodevelopmental outcome of the offspring of women who continued to exercise regularly throughout pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 1998 Mar;178(3):594-599.
- (75) Clapp JF,3rd. Morphometric and neurodevelopmental outcome at age five years of the offspring of women who continued to exercise regularly throughout pregnancy. *J Pediatr* 1996 Dec;129(6):856-863.
- (76) Exercise during pregnancy and the postpartum period. ACOG Technical Bulletin Number 189--February 1994. *Int J Gynaecol Obstet* 1994 Apr;45(1):65-70.
- (77) ACOG Committee Obstetric Practice. ACOG Committee opinion. Number 267, January 2002: exercise during pregnancy and the postpartum period. *Obstet Gynecol* 2002 Jan;99(1):171-173.

- (78) McMurray RG, Katz VL. Thermoregulation in pregnancy. Implications for exercise. *Sports Med* 1990 Sep;10(3):146-158.
- (79) Soultanakis-Aligianni HN. Thermoregulation during exercise in pregnancy. *Clin Obstet Gynecol* 2003 Jun;46(2):442-455.
- (80) Laburn HP, Faurie A, Goelst K, Mitchell D. Effects on fetal and maternal body temperatures of exposure of pregnant ewes to heat, cold, and exercise. *J Appl Physiol* 2002 Feb;92(2):802-808.
- (81) Clapp JF,3rd. The effects of maternal exercise on fetal oxygenation and feto-placental growth. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 2003 Sep 22;110 Suppl 1:S80-5.
- (82) Leet T, Flick L. Effect of exercise on birthweight. *Clin Obstet Gynecol* 2003 Jun;46(2):423-431.
- (83) Kramer MS, McDonald SW. Aerobic exercise for women during pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev* 2006 Jul 19;(3)(3):CD000180.
- (84) Clapp JF. Influence of endurance exercise and diet on human placental development and fetal growth. *Placenta* 2006 Jun-Jul;27(6-7):527-534.
- (85) Bung P, Bung C, Artal R, Khodiguian N, Fallenstein F, Spatling L. Therapeutic exercise for insulin-requiring gestational diabetics: effects on the fetus--results of a randomized prospective longitudinal study. *J Perinat Med* 1993;21(2):125-137.
- (86) Bungum TJ, Peaslee DL, Jackson AW, Perez MA. Exercise during pregnancy and type of delivery in nulliparae. *J Obstet Gynecol Neonatal Nurs* 2000 May-Jun;29(3):258-264.
- (87) Clapp JF,3rd, Dickstein S. Endurance exercise and pregnancy outcome. *Med Sci Sports Exerc* 1984 Dec;16(6):556-562.
- (88) Ferraro ZM, Gaudet L, Adamo KB. The potential impact of physical activity during pregnancy on maternal and neonatal outcomes. *Obstet Gynecol Surv* 2012 Feb;67(2):99-110.

- (89) Hopkins SA, Cutfield WS. Exercise in pregnancy: weighing up the long-term impact on the next generation. *Exerc Sport Sci Rev* 2011 Jul;39(3):120-127.
- (90) Kirsch K Leistungsphysiologie. In: Klinke R, Silbernagl S editors. *Lehrbuch der Physiologie*. 4 Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2003.