

Aus dem Institut für Sportwissenschaft
Abteilung Sportmedizin
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Vergleich hämodynamischer und kardiorespiratorischer
Parameter zwischen einem interaktiven Videospiel und einem
moderaten Ausdauertraining

Comparison of hemodynamic and cardiorespiratory parameters
between an interactive video game and a moderate endurance
training

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum medicinalium (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Eva Kircher

Datum der Promotion: 25.06.2023

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	iii
Zusammenfassung	1
1 Einleitung.....	3
2 Methodik.....	6
2.1 Studiendesign.....	6
2.2 Basisuntersuchungen	7
2.3 Inkrementeller Belastungstest mit kardiorespiratorischen Messungen	8
2.4 Hämodynamische Messungen	9
2.5 ExerCube	9
2.6 Moderates Ausdauertraining	10
2.7 Statistische Analyse	11
3 Ergebnisse	13
3.1 Maximale Herzfrequenz, Maximale Sauerstoffaufnahme	13
3.2 Peripherer Blutdruck.....	14
3.3 Zentraler Blutdruck	15
4 Diskussion.....	17
5 Schlussfolgerungen.....	26
Literaturverzeichnis	27
Eidesstattliche Versicherung.....	40
Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen.....	41
Auszug aus der Journal Summary List für Publikation 1	45
Druckexemplar der Publikation 1: The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame	46
Auszug aus der Journal Summary List für Publikation 2	53

Druckexemplar der Publikation 2: A Game-Based Approach to Lower Blood Pressure? Comparing Acute Hemodynamic Responses to Endurance Exercise and Exergaming: A Randomized Crossover Trial.....	57
Lebenslauf.....	70
Komplette Publikationsliste.....	73
Danksagung	78

Abkürzungsverzeichnis

AS	Arterielle Steifigkeit
BD	Blutdruck
BMI	Body Mass Index
CO ₂	Kohlendioxid
EX	ExerCube
HF	Herzfrequenz
HFmax	Maximale Herzfrequenz
HFpeak	Spitzenherzfrequenz im ExerCube
HIIT	Hochintensives Intervalltraining
HZV	Herzzeitvolumen
KA	Körperliche Aktivität
MAT	Moderates Ausdauertraining
MCS	Motion-Capturing-System
MW	Mittelwert
NO	Stickstoffmonoxid
O ₂	Sauerstoff
o.g.	oben genannt
PEH	Post Exercise Hypotonie
pSBD	peripherer systolischer Blutdruck
pDBD	peripherer diastolischer Blutdruck
zSBD	zentraler systolischer Blutdruck
zDBD	zentraler diastolischer Blutdruck
SD	Standardabweichung
VO ₂	Sauerstoffaufnahme
VO ₂ max	Maximale Sauerstoffaufnahme
VO ₂ peak	Spitzenwert der Sauerstoffaufnahme im ExerCube
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WHtR	Waist to Height Ratio

List of abbreviations

BMI	Body Mass Index
BP	blood pressure
cDBP	central diastolic blood pressure
cSBP	central systolic blood pressure
EX	ExerCube
HR	Heart rate
HRmax	maximal heart rate
MET	moderate endurance training
pDBP	peripheral diastolic blood pressure
pSBP	peripheral systolic blood pressure
VO ₂ max	maximal oxygen consumption

Zusammenfassung

Hintergrund: Die vorliegende randomisierte Cross-over-Studie zielte zunächst darauf ab, die Trainingsintensität in einem herzfrequenzgesteuerten, funktionellen Exergame (ExerCube) (EX) zu bewerten. Des Weiteren sollte untersucht werden, ob eine einzelne Trainingseinheit im EX vergleichbare Auswirkungen auf ausgewählte hämodynamische Parameter zeigt wie ein akutes moderates Ausdauertraining (MAT).

Methoden: 28 normotensive Freizeitsportler (13 Frauen, 15 Männer; $24,8 \pm 3,9$ Jahre; BMI $23,2 \pm 2,3$ kg/m²) führten zur Einordnung der Intensität der EX-Trainingseinheit einen kardiopulmonalen Belastungstest auf dem Laufband durch, um die maximale Herzfrequenz (HFmax) und die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max) zu ermitteln.

In randomisierter Reihenfolge an unterschiedlichen Tagen absolvierten die Probanden eine EX-Trainingseinheit (25 Minuten) und ein MAT auf dem Laufband (35 Minuten; 65%-70% der HFmax). Sowohl vor als auch während der 45-minütigen Ruhezeit nach den Trainingseinheiten (Messzeiten 15, 30 und 45 Minuten) wurden der periphere und zentrale Blutdruck (BD) nicht-invasiv erfasst.

Ergebnisse: Während des EX-Trainings erreichten die Probanden eine Spitzenherzfrequenz von $187,4 \pm 9,2$ Schläge pro Minute, was $96,6 \pm 3,6\%$ ihrer HFmax entspricht. Die Sauerstoffaufnahme während des Trainings im EX erreichte einen Spitzenwert von $41,6 \pm 5,1$ ml/kg/min, was $84,8 \pm 7,5\%$ ihrer VO₂max entspricht.

Im Vergleich zum MAT zeigte das Training im EX signifikante Reduktionen in der 30. und 45. Erholungsminute beim peripheren und zentralen systolischen BD (pSBD, zSBD) und in der 45. Minute beim peripheren und zentralen diastolischen BD ($p < 0,001$). Die Analyse der Interaktionseffekte ergaben beim pSBD und zSBD jeweils 30 und 45 Minuten nach dem Training signifikante Unterschiede zugunsten der EX-Gruppe ($p < 0,001$).

Schlussfolgerung: Aufgrund seines motivierenden und zeiteffizienten Charakters scheint der EX ein innovatives Trainingstool darzustellen, das aufgrund der höheren Belastungsintensität einen physiologisch relevanten Trainingsreiz hervorruft und günstige Effekte auf verschiedene hämodynamische Parameter auslöst. Somit kann ein EX-Training eine effektive Alternative oder Ergänzung zu allgemeinen Trainingsansätzen in der Herz-Kreislauf-Prävention darstellen.

Abstract

Background: The present randomized cross-over trial aimed to determine the training intensity in a heart rate controlled, functional exergame (ExerCube) (EX). Furthermore, we assessed if a single training session in the EX showed effects on selected hemodynamic parameters compared to a single session of moderate endurance training (MET).

Methods: 28 normotensive recreational athletes (13 women, 15 men; 24.8 ± 3.9 years old; BMI 23.2 ± 2.3 kg/m²) carried out a cardiopulmonary stress test on the treadmill to classify the intensity of the EX training session determine maximum heart rate (HR_{max}) and maximum oxygen uptake (VO_{2max}). In a randomized order on different days, the subjects completed an EX training session (25 minutes) and a MET on the treadmill (35 minutes; 65%-70% of HR_{max}). Before and during the 45-minute rest period after the training session (measuring times 15, 30 and 45 minutes) the peripheral and central blood pressure (BP) were recorded.

Results: During the EX-training, subjects achieved a peak heart rate of 187.4 ± 9.2 beats per minute, which corresponds to $96.6 \pm 3.6\%$ of their HR_{max}. Oxygen uptake during the exercise in the EX peaked at 41.6 ± 5.1 ml/kg/min, equivalent to $84.8 \pm 7.5\%$ of their VO_{2max}.

Compared to a MET, the training in the EX showed significant reductions in the 30th and 45th minute of recovery in the peripheral and central systolic BP (pSBP, cSBP) and at 45 minutes in peripheral and central diastolic BP ($p < 0.001$).

The analysis of the interaction effects revealed significant differences in favor of the EX-group ($p < 0.001$) for pSBP and zSBP in the 30th and 45th minute of recovery.

Conclusion: Due to its motivating and time-efficient character, the EX appears to be an innovative training tool that, due to the higher intensity of exertion, causes a physiologically relevant training stimulus and triggers favorable effects on various hemodynamic parameters. EX training can therefore be an effective alternative or supplement to general training approaches in cardiovascular prevention.

1 Einleitung

Bewegungsmangel zählt weltweit zu den führenden veränderbaren Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Erkrankungen [1]. Die mit fortschreitendem Alter zunehmende Manifestation von funktionellen und strukturellen Veränderungen im arteriellen Gefäßsystem stehen in enger Beziehung zur kardiovaskulären Mortalität [2]. Herz-Kreislauf-Erkrankungen stellen das gesamte Gesundheitssystem aufgrund von direkten Kosten durch die Behandlung dieser Erkrankungen und Folgeerkrankungen wie auch aufgrund indirekter Kosten (z.B. Produktivitätsverlust infolge krankheitsbedingter Fehlzeiten) vor große Herausforderungen. Hauptursache für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und der damit verbundenen verminderten Lebensqualität stellt der Bluthochdruck dar, der vornehmlich durch eine mangelnde körperliche Aktivität (KA) verursacht wird und vor allem die kardiovaskuläre Morbidität und Mortalität erhöhen kann [1,3].

Als KA wird jede Bewegung bezeichnet, die durch die Skelettmuskulatur erzeugt wird. Dabei wird der Energieverbrauch über den Grundumsatz angehoben [4].

Der Stellenwert der KA hat in der Prävention und Rehabilitation kardiovaskulärer Erkrankungen eine große Bedeutung erlangt. Als unabhängiger Therapie- und Prognosemarker wird er in den Leitlinien verschiedener Fachgesellschaften empfohlen [5,6].

Zahlreiche Studien der letzten Dekaden haben sich mit den Auswirkungen unterschiedlichster bewegungsbezogener Interventionen auseinandergesetzt und eindrucksvolle Erkenntnisse gewonnen.

Hierbei zeigte sich insbesondere der positive Einfluss einer regelmäßigen, ausdauerorientierten KA auf das arterielle Blutdruckverhalten [7], indem dadurch sowohl zur Therapie als auch zur Prävention nachweislich der systolische und der diastolische Blutdruck gesenkt werden konnte [7,8,9].

Nicht nur längerfristige, sondern auch akute, speziell ausdauerorientierte Belastungsprotokolle initiieren positive Anpassungserscheinungen, die längere Zeit nach dem Training (bis zu 12 Stunden) anhalten können [10,11,12,13].

Die unmittelbare Senkung des Blutdrucks nach einer einzigen Trainingseinheit wird als Post-exercise Hypotonie (PEH) bezeichnet [11]. Die PEH ist eine physiologische Reaktion auf eine akute körperliche Belastung, die prognostische Informationen wie beispielsweise die Entwicklung einer zukünftigen Hypertonie und auch kardiovaskulärer Erkrankungen liefern kann [14,15].

Seit geraumer Zeit erlangen neben den peripheren Blutdruckparametern auch Kenngrößen der arteriellen Gefäßsteifigkeit (AS) als frühdiagnostische Biomarker kardiovaskulärer Risikofaktoren zunehmend an Bedeutung. Diesen Parametern wird ein höherer prädiktiver Wert bezüglich zukünftiger kardiovaskulärer Ereignisse im Gegensatz zu den klassischen Parametern zugesprochen [16]. Die Messparameter der AS spiegeln sich unter anderem in den zentralen-aortalen Blutdruckwerten wider [17] und geben Aufschluss über Blutfluss und Gefäßelastizität wie auch zu unterschiedlichen Druckverhältnissen im arteriellen System.

Eine regelmäßige KA reduziert nicht nur den Blutdruck (BD) [18], sondern auch das Herzinfarktisiko [19] und die viszerale Adipositas [20], verbessert die endotheliale Funktion [21], erhöht die Kapillardichte [22] und vermindert die AS wie auch den myokardialen Sauerstoffbedarf [23].

Obwohl diese positiven Effekte regelmäßiger KA für den gesundheitlichen Nutzen allgemein anerkannt sind, erfüllt mehr als ein Viertel der Erwachsenen weltweit nicht die Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) von mindestens 150 bis 300 Minuten/Woche aerober Aktivität moderater bis hoher Intensität oder 75 bis 150 Minuten/Woche aerober Aktivität mit hoher Intensität [6].

Die Compliance bei Bewegungsangeboten und Bewegungsförderprogrammen stellt bei Erwachsenen immer noch ein größeres Problem dar [24]. Es scheint, dass zusätzlich zum fehlenden Zeitbudget, organisatorischen und sozialen Faktoren, insbesondere die mangelnde Motivation eine regelmäßige KA verhindert [24]. Aus diesen Gründen ist es elementar, attraktive, spaßfördernde und nicht zu zeitintensive Trainingsoptionen zu entwickeln, um das körperliche Aktivitätsniveau zu erhöhen.

In diesem Zusammenhang haben sich sog. Exergames (Exercise und Gaming) als vielversprechender Ansatz entwickelt. Hierbei handelt es sich um interaktive Videospiele, die durch die Integration von körperlichen Bewegungen ein aktives Spielerlebnis ermöglichen [25]. Dabei wird die elektronische und animierende Unterhaltung mit körperlicher Betätigung kombiniert und schafft dadurch neue Möglichkeiten, den Umfang und das Niveau an KA in verschiedenen Altersgruppen und Lebenswelten zu erweitern. Exergames können aufgrund ihres spielerischen und motivierenden Charakters eine attraktive Ergänzung oder Alternative zu herkömmlichen Trainingsmodalitäten darstellen [26].

Obwohl verschiedene Forschungsarbeiten einen signifikanten Anstieg des Energieverbrauchs beim Spielen von Exergames im Vergleich zu herkömmlichen Videospiele fest-

gestellt haben, generieren die meisten Spiele jedoch nur Aktivitäten mit geringer bis moderater Intensität [27,28]. Das Intensitätslevel vieler Spiele ist zu gering, um zum einen die Aktivitätsempfehlungen der WHO zu erfüllen und zum anderen, insbesondere bei aktiveren Personen, zu relevanten körperlichen Anpassungen zu führen [29,30,31,32,33,34]. Dies mag mitunter daran liegen, dass nur wenige Exergames sowohl ein attraktives Spieldesign als auch ein effektives Trainingskonzept aufweisen [35]. Es besteht der allgemeine Konsens, dass höhere Trainingsintensitäten mit individuell zugeschnittenen Trainingsreizen zu ausgeprägteren körperlichen Anpassungen führen und dadurch einen höheren gesundheitlichen Nutzen induzieren [36,37].

Mit dem ExerCube (EX) ist ein neues Exergame-Modell auf den Markt gekommen, das Exergaming durch seinen ganzheitlichen Trainingsansatz auf ein neues physisches Niveau anhebt. Der EX ist ein immersives Fitness-Game-Setting, welcher den Intensitätslevel wie auch den Schwierigkeitsgrad kontinuierlich an die individuelle Fitness und die kognitiven Fähigkeiten des Spielers anpasst. Er impliziert ein effektives Trainingskonzept, bei dem der körperliche Aktivitätslevel sogar das Niveau eines hochintensiven Intervalltrainings (HIIT) erreichen kann [38,39].

Die vorliegende Arbeit untersuchte und bewertete zunächst in ihrem ersten Teil die Trainingsintensität dieses neuen funktionalen Fitness-Spiels namens EX. Dafür wurden die während eines standardisierten Belastungstests erreichte maximale Herzfrequenz (HFmax) sowie die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2max) mit den gleichen Parametern, die während eines Spiels im EX erreicht wurden, prozentual in Bezug gesetzt.

Der zweite Teil der Untersuchung zielte darauf ab, festzustellen, ob ein physisch-kognitiv adaptives, funktionelles Fitnessspiel einen effektiven Trainingsansatz darstellt, der ähnlich einem traditionellen moderaten Ausdauertraining relevante Blutdruckreaktionen auslösen kann. Daher wurden die akuten Auswirkungen einer Trainingseinheit im EX auf den peripheren und zentralen Blutdruck untersucht und mit der Blutdruck-Senkung (PEH-Effekt) nach einem moderaten Ausdauertraining (MAT) auf einem Laufband verglichen.

Aufgrund dieser Datenerhebungen wird vermutet, dass durch eine mögliche höhere Trainingsintensität im EX im Gegensatz zum MAT relevantere Reizsetzungen induziert werden, die physiologische Reaktionen auslösen können.

2 Methodik

Es wurden 28 gesunde und normotensive Freizeitsportler untersucht. Die Probanden wurden über Mundpropaganda, soziale Medien und Flyer auf dem Universitätscampus der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg rekrutiert und hatten vorab keinerlei Erfahrungen mit dem EX.

Durch eine ausführliche Anamnese wurden im Vorfeld das Vorliegen akuter und chronischer Erkrankungen, insbesondere des Herz-Kreislaufsystems, des aktiven und passiven Bewegungsapparates sowie auch extreme Ernährungsformen ausgeschlossen. Keiner der Studienteilnehmer durfte blutdrucksenkende oder andere kardiovaskulär wirkende Medikamente einnehmen oder vorab mit kardiovaskulären Präparaten behandelt worden sein. Alle weiblichen Teilnehmerinnen bestätigten regelmäßige und problemlose Menstruationszyklen und nahmen mindestens in den letzten sechs Monaten orale Antikonzeptiva ein.

Jeder Proband gab vor Beginn der Studie, nach einer umfassenden mündlichen und schriftlichen Aufklärung über den Untersuchungsablauf sowie über mögliche Risiken der Testverfahren, sein schriftliches Einverständnis.

Die Studie wurde gemäß der Helsinki-Deklaration durchgeführt und vom Forschungsethikrat der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Medizinische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 2019-177) genehmigt.

2.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine randomisierte Cross-over-Studie. Das Studiendesign bestand aus einer Basisuntersuchung (vgl. dazu Punkt 2.2) und zwei folgenden Trainingseinheiten. Alle Untersuchungstermine der Probanden fanden in einem Abstand von mindestens 48 Stunden statt. Jeder Termin startete zur gleichen Tageszeit, um den zirkadianen Einfluss auf die Ergebnisse zu reduzieren [40,41]. Bei den weiblichen Teilnehmerinnen wurden die Untersuchungstage so gewählt, dass sie nicht in deren frühe Follikelphase fielen, da zu diesen Zeitpunkten die hämodynamischen Reaktionen stärker ausgeprägt sein können [42].

Darüber hinaus wurden die Teilnehmer bei der Basisuntersuchung angewiesen, mindestens vier Stunden vor dem jeweiligen Training auf koffeinhaltige oder alkoholische Getränke und Nikotin zu verzichten. Sie wurden auch instruiert, mindestens zwei Stunden vor den Tests nichts zu essen oder zu trinken und mindestens zwölf Stunden vor jeder Untersuchung keine intensive KA zu betreiben.

Zudem hatten die Testpersonen die Möglichkeit, sich in einem zehnminütigen Tutorial mit dem EX vertraut zu machen.

Die Randomisierung bezüglich der Reihenfolge der Trainingsinterventionen erfolgte über das Computerprogramm random sequence generator unter www.random.org.

Je nach Randomisierung absolvierten die Teilnehmer bei ihrem zweiten bzw. dritten Besuch entweder ein 35-minütiges MAT auf dem Laufband oder eine 25-minütige Trainingseinheit im EX.

2.2 Basisuntersuchungen

Bei der Eingangsuntersuchung vor Beginn der Studie wurden anthropometrische Kenngrößen erfasst. Dabei wurde die Körpergröße barfuß auf 0,5 cm genau mit einem an der Wand befestigten Maßband gemessen. Unter Verwendung einer elektronischen Waage (BC-545 Innerscan, Tanita, Niederlande) wurde das Körpergewicht der Testpersonen mit einer Genauigkeit von 0,1 kg bestimmt. Der Taillenumfang wurde mit einem nicht elastischen Maßband gemessen, welches um die Taille der aufrechtstehenden Testpersonen zwischen der untersten Rippe (Rippenbogen) und der Oberkante des Hüftknochens (Beckenkamm) gelegt wurde.

Der periphere Blutdruck wurde unter Verwendung einer angepassten Oberarmmanschette gemessen, um die Probanden bereits mit dem Verfahren vertraut zu machen [43].

Ein inkrementeller Belastungstest erfolgte als letzter Teil der Basisuntersuchungen.

2.3 Inkrementeller Belastungstest mit kardiorespiratorischen Messungen

Zur Erfassung der individuellen HFmax absolvierten die Probanden einen Stufentest (inkrementeller Belastungstest) auf einem Laufband-Ergometer (h/p/cosmos; Pulsar 4.0, Deutschland). Die Startgeschwindigkeit wurde je nach Trainingszustand zwischen 7,5 km/h und 10,5 km/h eingestellt. Die einzelnen Stufen dauerten jeweils 3 Minuten. Nach jeder Stufe wurde die Geschwindigkeit des Laufband-Ergometers um 1,5 km/h erhöht. Diese Geschwindigkeitssteigerungen wurden so lange fortgesetzt, bis die Probanden erschöpfungsbedingt den Belastungstest beendeten. Um am Ende jeder Phasenstufe Laktatproben (10µl) aus dem Ohrläppchen entnehmen zu können, erfolgte zwischen den Stufen eine einminütige passive Pause.

Die Herzfrequenz (HF) wurde während der gesamten Testdauer mit einem Herzfrequenzsensor (Polar Electro OY, Kempele, Finnland) unter Verwendung eines Brustgurts aufgezeichnet. Der höchste aufgezeichnete Wert wurde als individuelle HFmax registriert. Um die Blutlaktatkonzentrationen zu bestimmen, wurde die enzymatisch-amperometrische Methode (Dr. Mueller, Super GL Ambulance, Deutschland) angewandt. Die erhobenen Daten wurden unter Verwendung der Software WinLactat 3.1 (Mesics, Deutschland) ausgewertet. Individuelle Schwellenwerte wurden aus der Laktatgeschwindigkeitskurve unter Verwendung des Dickhuth-Modells abgeleitet [44].

Zur Ermittlung der VO₂max trugen die Probanden während des Belastungstests eine Atemmaske mit einem portablen Spirometriegerät (Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Deutschland), welches eine uneingeschränkte Beweglichkeit erlaubte. Die Expiration wurde kontinuierlich (Atemzug für Atemzug) hinsichtlich der O₂- und CO₂-Konzentration analysiert. Der höchste, über jeweils 30 Sekunden gemittelte VO₂-Wert während der Belastung, wurde als VO₂max definiert. Vor jedem Test wurde das Gerät gemäß den Richtlinien des Herstellers kalibriert.

Zur Sicherstellung, dass jeder Teilnehmer einen gültigen VO₂max erreicht, mussten mindestens zwei der folgenden Kriterien erfüllt sein:

1. Plateau der Sauerstoffaufnahme
2. Respiratorischer Quotient > 1,1
3. Erreichen der altersentsprechenden maximalen Herzfrequenz

Das Cool Down dauerte drei Minuten bei einer Laufbandgeschwindigkeit von 3 km/h.

2.4 Häodynamische Messungen

Vor Beginn einer jeden Trainingseinheit ruhten die Testpersonen zunächst 15 Minuten in Rückenlage. Die häodynamischen Messungen wurden mindestens zweimal am rechten Oberarm mit einer individuell angepassten Blutdruckmanschette durchgeführt. Der periphere und zentrale systolische und diastolische Blutdruck wurden nichtinvasiv mit dem Mobil-O-Graph (24 PWA-Monitor, IEM, Stolberg DEUTSCHLAND) aufgezeichnet. Der Mobil-O-Graph ist ein klinisch validiertes Gerät für häodynamische Messungen [45].

15 Minuten, 30 Minuten und 45 Minuten nach den jeweiligen Trainingseinheiten wurden die gleichen BD-Parameter wiederholt aufgezeichnet, während die Probanden in Rückenlage ruhten. Alle Messungen wurden von demselben geschulten Studienpersonal in dem gleichen temperaturkontrollierten Raum ($23,5^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$) durchgeführt.

Um standardisierte Bedingungen zu gewährleisten, wurden die Empfehlungen der „Clinical Applications of Arterial Stiffness, Task Force III“ [46] befolgt.

2.5 ExerCube

Der EX ist ein neuartiges, physisch und kognitiv herausforderndes funktionelles Fitnessspiel, das ein immersives Videospiel mit effektiven Trainingskonzepten kombiniert.

Im EX sind die Spieler von drei gepolsterten Wänden (3x3x2m) umgeben, die als Projektionsfläche des animierten Spielszenarios und als haptische Schnittstelle für körperliche Interaktionen dienen [47]. Während des 25-minütigen Spiels (hier: Sphery Racer) navigiert der Spieler einen Avatar auf einem Hoverboard entlang einer virtuellen Rennstrecke und muss unterschiedliche motorisch-kognitive Aufgaben ausführen, damit er verschiedene Hindernisse überwinden kann. Diese Ganzkörperbewegungen sind beispielsweise Kniebeugen, Sprünge, Ausfallschritte, Trippels (Skippings), Burpees (Liegestütz) und Punches (Schläge). Ein Motion-Capturing-System (MCS) verfolgt kontinuierlich die Bewegungen und Körperpositionen des Spielers über sog. HTC Vive-Tracker, die an den Hand- und Fußgelenken des Spielers angebracht sind.

Das MCS analysiert das genaue Timing und die Präzision der Bewegungen während des Spiels und garantiert somit eine korrekte Ausführung der verschiedenen Bewegungsaufgaben. Das Spiel Sphery Racer besteht aus fünf dynamischen Bewegungslevels unterschiedlicher Dauer (Level 1: 2,5 min; Level 2: 2,5 min; Level 3: 5 min; Level 4: 5 min;

Level 5: 10 min), die sich im Schwierigkeitsgrad und der Komplexität allmählich erhöhen. Die verschiedenen Levels sind durch kurze Ruhephasen von ca. 30 Sekunden unterbrochen. Das Spiel beginnt mit einer niedrigen bis mittleren Intensität (in Bezug auf die körperliche und kognitive Beanspruchung) und steigert sich allmählich, bis eine hohe Intensität erreicht ist. Während des gesamten Spiels werden sowohl die HF wie auch die Spielleistung kontinuierlich überwacht. Um ein optimales, effektives wie auch attraktives Spiel- und Trainingserlebnis zu gewährleisten, werden Spielgeschwindigkeit und -komplexität während des Trainings kontinuierlich an die individuelle Fitness und die kognitiven Fähigkeiten des Spielers angepasst [47,48]. Wenn der Spieler zu viele Fehler macht oder die vorgegebene HF (90% der HFmax) erreicht, verlangsamt sich die Geschwindigkeit des Spiels.

Während der Trainingseinheit wurde die HF kontinuierlich mit einem Herzfrequenzmesser (Polar Electro OY, Kempele, Finnland) überwacht und der Herzfrequenzspitzenwert ermittelt. Die Expiration wurde mit einem portablen Spirometriegerät (Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Deutschland) kontinuierlich hinsichtlich der O₂- und CO₂-Konzentration analysiert und der Spitzenwert der Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}) dokumentiert. Vor und nach der EX-Sitzung wurde die Laktatkonzentration aus den aus dem Ohrläppchen entnommenen Blutproben gemessen. Zur Bestimmung des Flüssigkeitsverlusts wurde das Körpergewicht vor und nach der EX-Trainingseinheit mit einer elektronischen Waage (BC-545 Innerscan, Tanita, Niederlande) ermittelt.

2.6 Moderates Ausdauertraining

Das moderate aerobe Ausdauertraining wurde über 35 Minuten auf einem Laufband (h/p/cosmos, Pulsar 4.0, Deutschland) durchgeführt.

Nach einer 5-minütigen Aufwärmphase bei 5,5 km/h, wurde die Geschwindigkeit des Laufbandes gemäß der individuellen aeroben Schwelle eingestellt und kontinuierlich so angepasst, dass jede Testperson während der gesamten Trainingseinheit eine HF von 65-70% ihrer HFmax erreichte. Die HF wurde während des gesamten Laufbandtests mit einem Herzfrequenzsensor (Polar Electro OY, Kempele, Finnland) überwacht.

Die Expiration (O₂- und CO₂-Konzentration und VO_{2peak}) wurde gleich dem EX-Training mit einem portablen Spirometriegerät (Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Deutschland)

kontinuierlich analysiert und dokumentiert. Vor und nach dem MAT wurde die Laktatkonzentration aus dem gewonnenen Ohrläppchenblut gemessen.

Das Körpergewicht wurde wie bereits beim EX berichtet, vor und nach dem MAT mit einer elektronischen Waage (BC-545 Innerscan, Tanita, Niederlande) bestimmt, um den Flüssigkeitsverlust zu eruieren.

2.7 Statistische Analyse

Eine a priori durchgeführte Poweranalyse unter Verwendung von G*Power (Version 3.1.2; Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Deutschland) konnte zeigen, dass eine Stichprobengröße von 24 Probanden eine ausreichende Power für eine große Effektstärke liefert.

Die Analyse der anthropometrischen Daten der Probanden wurde mit dem Windows-Programm Microsoft Excel 2013 durchgeführt. Diese Ergebnisse werden als Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) dargestellt. Die statistischen Auswertungen der hämodynamischen Parameter erfolgten mit dem Open-Source-Programm „R“ (Version 3.5.3). Der Shapiro-Wilk-Test sowie der Kolmogorov-Smirnov-Test wurden durchgeführt, um die Normalverteilung der Daten zu überprüfen. Aufgrund der nicht symmetrisch verteilten Stichproben wurde ein zweiseitiger Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben verwendet. Die Variablen wurden als Median und 1. und 3. Quartil angezeigt. Das Signifikanzniveau (Alpha-Level) wurde auf $p \leq 0,05$ festgesetzt.

Die statistischen Analysen der kardiorespiratorischen Parameter wurden mit Hilfe des Statistikprogramms IBM SPSS Statistics 27,0 (IBM Corp., Armonk, New York, USA) durchgeführt. Die deskriptive Darstellung der Daten erfolgte als MW und SD.

Um die Belastungsintensität während des Trainings im EX prozentual einordnen zu können, wurden die dort erreichten HF-Werte und die VO_2 -Werte mit der individuellen HFmax wie auch der individuellen VO_{2max} aus dem Stufentest verglichen.

Um Unterschiede der Belastungsintensität zwischen den fünf verschiedenen Levels im EX festzustellen, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung durchgeführt. Zur Untersuchung von paarweisen Mittelwertsunterschieden wurden Bonferroni-Post-hoc-Analysen durchgeführt. Der Levene-Test wurde verwendet, um die Homogenität der Varianz zu überprüfen.

Zusätzlich wurde eine lineare Regressionsanalyse angewandt, um zu untersuchen, ob das Körpergewicht, das Geschlecht und die Ausdauerleistung signifikante Prädiktoren für die Trainingsintensität (speziell auf die mittlere HF) während der Einheit im EX darstellen. Auch hier wurde die statistische Signifikanz auf den Alpha-Level von $p \leq 0,05$ festgelegt.

3 Ergebnisse

Alle 28 Probanden (46,4% weiblich) im Alter von $24,8 \pm 3,9$ Jahren absolvierten die beiden Trainingseinheiten ohne unerwünschte Ereignisse und besondere Nebenwirkungen. Die Probanden hatten ein durchschnittliches Körpergewicht von $68,9 \pm 10,7$ kg, eine Körpergröße von $171,9 \pm 9,7$ cm (Body Mass Index $23,2 \pm 2,3$ kg/m²) und einen Taillenumfang von $76,2 \pm 6,7$ cm. Die daraus resultierende Waist-to-Height-Ratio (WHtR) zeigte einen mittleren Wert von $0,4 \pm 0,1$.

3.1 Maximale Herzfrequenz, Maximale Sauerstoffaufnahme

Die Probanden erreichten während des inkrementellen Belastungstests im Mittel eine HFmax von $194,1 \pm 7,7$ Schläge pro Minute und zeigten eine VO₂max von $49,2 \pm 5,9$ ml/kg/min.

Während des 25-minütigen Spiels im EX wurde eine Spitzenherzfrequenz (HFpeak) von $187,4 \pm 9,2$ Schläge pro Minute erreicht. Dieser HFpeak-Wert entspricht $96,6 \pm 3,6\%$ der individuellen HFmax der Teilnehmer. Die durchschnittliche HF während des EX-Trainings wurde mit $167,1 \pm 10,9$ Schläge pro Minute registriert, was $86,1 \pm 4,3\%$ der HFmax entspricht. Dies ist signifikant ($p < 0,001$) höher, als die durchschnittliche und maximale HF während des MAT ($138,0 \pm 7,7$; $152,1 \pm 9,6$ Schläge pro Minute).

Zusätzlich konnte während des Spiels ein Spitzenwert der Sauerstoffaufnahme (VO₂peak) von $41,6 \pm 5,1$ ml/kg/min dokumentiert werden, welcher $84,8 \pm 7,5\%$ der VO₂max entspricht. Die mittlere VO₂ während des 25-minütigen Trainings betrug $32,4 \pm 4,0$ ml/kg/min. Dieser Wert entspricht $66,0 \pm 5,7\%$ der VO₂max.

Während der fünf verschiedenen Spielstufen im EX konnte im Verlauf ein signifikanter ($p < 0,001$) Zeiteffekt für die durchschnittliche HF ($86,1 \pm 4,3\%$) und die durchschnittliche VO₂ ($66,0 \pm 5,7\%$) festgestellt werden. Die durchschnittliche HF stieg im Laufe des Spiels allmählich an und erreichte ihren Maximalwert im Level 4 ($89,6 \pm 4,3\%$ der HFmax). Die durchschnittliche VO₂ stieg nach einem geringen Abfall in Level 3 ebenso bis Level 4 an ($77,2 \pm 8,2\%$ der VO₂max) und zeigte in Level 5 einen signifikanten Abfall ($69,3 \pm 6,2$; $p < 0,001$).

Bis auf einen Teilnehmer erreichten alle Probanden Blutlaktatspiegel, die über ihrer individuellen anaeroben Schwelle lagen.

Die Regressionsanalyse ergab keinen signifikanten Einfluss von Geschlecht ($p=0,482$), Körpergewicht ($p=0,582$) und $VO_2\max$ ($p=0,149$) auf die durchschnittliche HF während des Trainings im EX.

3.2 Peripherer Blutdruck

Vor dem MAT wurden in Ruhe ein peripherer systolischer Blutdruck (pSBD) von 118,8mmHg (111,3;124,6) und ein peripherer diastolischer Blutdruck (pDBD) von 67,8mmHg (64,4;74,3) registriert.

Nach dem MAT gab es beim pSBD in der 15. Erholungsminute einen nicht signifikanten Anstieg um 0,7mmHg ($p=0,969$), der sich in der 30. (-0,8mmHg; $p=0,544$) und 45. Minute (-1,8mmHg; $p=0,137$) im Vergleich zum Ruhewert nur marginal reduzierte. Beim pDBD zeigte sich in der 15. (+2,2mmHg; $p=0,985$) und 30. Minute (+0,2 mmHg; $p=0,060$) ein nicht signifikanter Anstieg. In der 45. Minute konnte eine geringfügige (-0,8mmHg; $p=0,003$), aber signifikante Reduktion des pDBD präsentiert werden.

Vor dem EX-Training wurden in Ruhe ein pSBD von 119,8mmHg (115,1;129,8) und ein pDBD von 69,8mmHg (66,0;74,1) gemessen.

Nach dem Training im EX konnte beim pSBD in der 15. Minute ähnlich dem MAT eine nicht signifikante Erhöhung (+2,7mmHg; $p=0,615$) festgestellt werden. In der 30. (-3,3mmHg; $p<0,001$) und 45. Erholungsminute (-6,3mmHg; $p<0,001$) konnte beim pSBD jedoch ein hochsignifikanter Abfall gezeigt werden. Auch der pDBD reduzierte sich nach der EX-Session in der 15. Minute (-1,3mmHg; $p=0,158$), jedoch nicht signifikant. In der 30. (-0,3mmHg; $p=0,028$) und 45. Erholungsminute (-4,8mmHg; $p<0,001$) zeigten sich die BD-Reduktionen signifikant.

Beim pSBD zeigten die Interaktionseffekte zwischen den beiden Gruppen sowohl nach 30 Minuten ($p<0,001$), als auch nach 45 Minuten ($p<0,001$) signifikante Unterschiede zugunsten des Trainings im EX. In der 15. Erholungsminute ergaben sich keine signifikanten Gruppenunterschiede ($p=0,255$).

Beim pDBD konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Trainingseinheiten erst in der 45. Erholungsminute ($p=0,052$) zugunsten der EX-Gruppe gezeigt werden. In der 15. ($p=0,547$) und 30. Erholungsminute ($p=0,933$) präsentierten sich keine signifikanten Interaktionseffekte.

3.3 Zentraler Blutdruck

Vor dem MAT wurde in Ruhe ein zentraler systolischer Blutdruckwert (zSBD) von 107,3mmHg (102,8;113,5) registriert. Der zentrale diastolische Blutdruck (zDBD) in Ruhe wurde mit 69,0mmHg (65,4;75,0) angezeigt.

Beim zSBD zeigte sich nach dem MAT in der 15. (+3,2mmHg; $p=0,083$), 30. (+4,7mmHg; $p=0,195$) und 45. Erholungsminute (+1,7mmHg; $p=0,648$) eine nicht signifikante Erhöhung. Der zDBD zeigte nach einem nicht signifikanten Anstieg in der 15. Erholungsminute (+1mmHg; $p=0,995$) und einem gleichbleibenden BD in der 30 Minute (± 0 mmHg; $p=0,102$) erst 45 Minuten nach Trainingsbeendigung eine geringfügige, aber statistisch signifikante Reduktion (-1,5mmHg; $p=0,006$).

Vor dem EX-Training wurde in Ruhe ein zSBD von 109,8mmHg (103,5;120,1) gemessen. Der zDBD wurde mit 71,3mmHg (67,1;75,0) registriert.

Im Gegensatz zum MAT präsentierte sich der zSBD nach einem nicht bedeutsamen Anstieg (+0,2mmHg; $p=0,701$) in der 15. Erholungsminute 30 Minuten (-0,3mmHg; $p=0,001$) wie auch 45 Minuten (-5,8mmHg; $p<0,0001$) nach dem EX-Training signifikant reduziert. Der zDBD konnte nach einem nicht signifikanten Anstieg in der 15. Minute (+0,7mmHg; $p=0,715$) in der 30. (-1,3mmHg; $p=0,024$) wie auch in der 45. Erholungsminute (-5,3mmHg; $p<0,001$) eine signifikante Reduktion verzeichnen.

Übereinstimmend dem pSBD zeigten die Interaktionseffekte beim zSBD zwischen den beiden Gruppen in der 30. ($p<0,001$) und 45. Erholungsminute ($p<0,001$) hochsignifikante Unterschiede zugunsten des EX-Trainings. In der 15. Minute postinterventionell wiesen diese Effekte eine Tendenz zu einem Vorteil für die EX-Trainingseinheit auf ($p=0,070$).

Im Gesamtvergleich der beiden Gruppen ergab sich beim zDBD erst in der 45. Minute ein Trend eines Interaktionseffekts zugunsten des EX-Trainings ($p=0,089$). In der 15. ($p=0,995$) und der 30. Erholungsminute ($p=0,740$) zeigten sich keine signifikanten Interaktionseffekte.

Die Ergebnisse sind in den folgenden Publikationen detailliert dargestellt:

Publikation 1:

Ketelhut S, Röglin L, Kircher E, Ketelhut RG, Martin-Niedecken AL, Hottenrott K, Ketelhut K. The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame. *Int J Sports Med.* 2021;43(1):77-82.

Publikation 2:

Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut K, Röglin L, Hottenrott K, Martin-Niedecken AL, Ketelhut RG. A Game-Based Approach to Lower Blood Pressure? Comparing Acute Hemodynamic Responses to Endurance Exercise and Exergaming: A Randomized Crossover Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(3):1349.

4 Diskussion

Dies ist unseres Wissens die erste Studie, die die akuten Auswirkungen einer Trainingseinheit im EX und eines herkömmlichen MAT auf den BD wie auf kardiorespiratorische Parameter bei erwachsenen Personen direkt vergleicht.

Im ersten Schritt der hier vorliegenden Untersuchung wurde die Trainingsintensität dieses neuen immersiven Exergame-Modells während einer Trainingseinheit bewertet.

Im zweiten Teil dieser Studie sollten im Speziellen die akuten Auswirkungen einer Trainingseinheit im EX und eines traditionellen MAT auf dem Laufband auf den peripheren und zentralen BD bei jungen, gesunden Erwachsenen verglichen werden.

Die Erhebungen für den ersten Studienteil zeigten, dass gemäß den $VO_2\text{max}$ -Werten sowohl die männlichen als auch die weiblichen Studienteilnehmer als gut trainiert bezeichnet werden konnten [49]. 17 Teilnehmer wiesen einen ausgezeichneten, drei einen überdurchschnittlichen, fünf einen guten und drei der Probanden einen angemessenen Trainingszustand auf [49].

Laut BMI wurden vier Probanden als übergewichtig eingestuft [50]. Hinsichtlich der WHtR zeigten zwei der Teilnehmer übergewichtige Werte. Diese Werte kommen wohl aufgrund eines höheren Muskelgehalts anstelle eines hohen Fettgehalts zustande, was sich wiederum auf eine gute körperliche Fitness zurückführen lässt.

Die Ergebnisse konnten darlegen, dass die Probanden während des EX-Trainings eine HFpeak erreichten, die $96,6\pm 3,6\%$ ihrer individuellen HFmax entspricht [51]. Auch die durchschnittliche HF, die während Spiels im EX einschließlich der kurzen Ruhephasen zwischen den einzelnen Levels erzielt wurde, zeigte einen Wert, der $86,1\pm 4,3\%$ der HFmax entspricht. Ohne die kurzen Pausen zwischen den Levels war die mittlere HF noch höher und ermittelte Werte von $89,6\%$ [51].

Während der 25-minütigen EX-Session zeigten die $VO_2\text{peak}$ -Werte $84,8\pm 7,5\%$ der $VO_2\text{max}$; selbst die mittlere VO_2 erreichte während des gesamten Spielverlaufs $66,0\pm 5,7\%$ der $VO_2\text{max}$ [51].

Unseres Wissens erlangt derzeit keines der angebotenen Exergames die hohen Intensitäten des EX. Etliche Untersuchungen konnten bisher zeigen, dass die meisten Spiele nur eine KA von geringer bis mittlerer Intensität induzieren und wahrscheinlich zu gering

sind, um relevante körperliche Anpassungen, gerade bei regelmäßig körperlich aktiveren Personen, hervorzurufen [27,28,29,30,32,52].

Die am häufigsten untersuchte Konsole ist die „Nintendo Wii“. Bosch et al., 2012 [53] ermittelten während 30 Minuten „Wii-Boxen“ eine mittlere HF von 77,5% der HFmax. Eine ähnliche Studie von Jordan et al., 2011 [54] fand bereits nach 12 Minuten „Wii-Boxen“ deutlich niedrigere Werte (65,5% der HFmax). Graves et al., 2010 [30] untersuchten die HF während „Wii Aerobic“ bei jüngeren und älteren Erwachsenen und ermittelten 57,0% der HFmax. Jedoch wurde die HFmax in dieser Studie nicht mit einem inkrementellen Belastungstest bestimmt, sondern mit einer Formel berechnet. Willems und Bond, 2009 [55] berichteten nach zehn Minuten „Wii Tennis“ (46,0% der HFmax), „Wii Baseball“ (44,0% der HFmax) und „Wii Boxing“ (56,0% der HFmax) über eine niedrigere mittlere HF.

Bei den unterschiedlichsten Wii-Spielen lag die mittlere HF im Bereich zwischen 44% und 77,5% der HFmax. Auch andere Exergames wie beispielsweise das Spiel „Hollywood Workout“ oder das Spiel „River Rush“ auf der X-BOX 360 Kinect erreichten nicht annähernd die im EX erzielten Werte [56]. Die höchsten HF-Werte, die während eines Exergames erzielt wurden, belaufen sich zwischen 77,4% bis 80% der HFmax [57,58,59]. Dabei erreichte die höchsten Werte das Bike-Exergame „Pedal Tanks“ [58,59].

Die durchschnittlichen HF-Werte und VO_2 -Werte die im EX erreicht wurden, entsprechen gemäß den ACSM-Richtlinien (American College of Sports Medicine) einer intensiven körperlichen Belastung [60].

Monedero et al., 2017 [57] beobachteten einen mittleren VO_2 -Wert von 46,9% der VO_{2max} für ein Videospiele zum Thema Unterhaltung und 58,6% der VO_{2max} für ein Videospiele zum Thema Fitness. Sell et al., 2008 [61] fanden während des Spiels „Dance Dance Revolution“ ebenso niedrigere mittlere VO_2 -Werte im Vergleich zum EX. Während des „Wii-Boxens“ erzielten die Teilnehmer eine mittlere VO_2 von 41,0% der VO_{2max} [54] bzw. 40,5% der VO_{2max} [56]. Die höchsten Werte wurden wiederum in Untersuchungen von Berg und Moholdt, 2020 [58] und Moholdt et al., 2017 [59] während eines Bike-Exergames mit einer durchschnittlichen VO_2 von 61,7% der VO_{2max} erreicht.

Bezüglich der hohen Intensitäten, die während einer Trainingseinheit im EX im Gegensatz zu anderen Exergames erzielt wurden, werden unterschiedliche Hypothesen diskutiert. Es hat sich gezeigt, dass die eingesetzte Muskelmasse einen Einfluss auf die kardiale Ausbelastung und somit auf die HFmax hat [62].

Das funktionelle Ganzkörpertraining im EX beansprucht große Muskelgruppen, welches diese o.g. Hypothese stützt. Bei den meisten Exergames werden nur Arme oder Beine bewegt und somit eine deutlich geringere Muskelmasse benutzt. Monedero et al., 2014 [63] bestätigten nach einer Veränderung eines „Wii Sports“-Spiels, dass vor allem Exergames, insbesondere mit Belastungen der unteren Extremitäten, die Trainingsintensität erhöhen. Dabei steigerte sich die mittlere HF von 45,0% auf 62,2% der HFmax. Auch Berg und Moholdt, 2020 [58] wie auch Moholdt et al., 2017 [59] konnten diese Beobachtungen von Monedero et al., 2014 [63] mit ihrem Bike-Exergame bestätigen. Graves et al., 2008 [64] zeigten, dass Bewegungen des gesamten Körpers während eines Exergame-Spiels die höchsten Stoffwechselaktivitäten hervorrufen.

Das Spiel im EX fordert vom Spieler Ganzkörperbewegungen, die von einem MCS präzise verfolgt werden. Daher sind auch keine ungenauen Bewegungsausführungen oder gar Täuschungen möglich.

Die höhere Trainingsintensität, die während einer EX-Sitzung erreicht wird, könnte darauf zurückzuführen sein, dass im EX die HF während des Spiels kontinuierlich gemessen wird und dadurch das Schwierigkeits- und Geschwindigkeitslevel des Spiels an die vordefinierte Ziel-HF angepasst wird. So kann während der gesamten Trainingseinheit eine angemessene individuelle Reizsetzung garantiert werden.

Neben den Anpassungen auf muskulärer Ebene, begründen sich die Verbesserungen der VO_2max vornehmlich durch die zentrale Sauerstoffzufuhr und Adaptionen des kardiovaskulären Systems [65]. Die höhere Belastungsintensität nahe der VO_2max , die vermutlich durch die intermittierende Belastung im EX ermöglicht wird, scheint hierbei die entscheidenden physiologischen Adaptionen hervorzurufen und gilt wohl als ein essenzieller Stimulus für kardiale Anpassungen [66,67].

Nach den hier präsentierten Ergebnissen erscheint der EX ein innovatives Tool zu sein, um die geforderten KA-Empfehlungen zu erreichen und dadurch zu einer langfristigen Leistungsentwicklung wie auch zur Gesundheitsförderung beitragen zu können.

Betrachtet man die Ergebnisse des zweiten Studienteils, so zeigte sich bezüglich des pSBD dass kein Teilnehmer als hypertensiv einzugruppiert war [68,69]. Bei zwei Probanden wurde in Ruhe ein hochnormaler pSBD registriert. In Bezug auf den pDBD wurden alle Probanden als normotensiv eingestuft [69].

Die Resultate im zweiten Teil dieser Untersuchung präsentierten, dass die beiden Belastungsmodi im zeitlichen Verlauf die peripheren und zentralen BD-Reaktionen bei jungen gesunden Erwachsenen beeinflussten. Es konnte gezeigt werden, dass eine einzelne Trainingseinheit im EX zu einer stärkeren Reduzierung des peripheren wie zentralen BD im Gegensatz zu einem MAT führte.

Das Training im EX zeigte sich in dieser Hinsicht einem MAT deutlich überlegen [69].

Ein unter Ruhebedingungen auftretender hypotensiver Effekt nach einer akuten moderaten Ausdauerbelastung konnte bereits mehrfach belegt werden [10,11,13]. Im Vergleich zu anderen Untersuchungen [70,71,72,73] zeigte der periphere wie zentrale BD in der vorliegenden Studie nach dem MAT keine signifikanten Veränderungen [69]. Eine mögliche Ursache für den äußerst geringen PEH-Effekt nach der MAT-Sitzung könnte die kurze Trainingsdauer von 35 Minuten darstellen. Jedoch konnten im Gegensatz dazu Lui et al., 2012 [74] bereits nach 30 Minuten aerobem Training eine stärkere BD-Senkung präsentieren. Allerdings handelte es sich bei Lui et al., 2012 [74] um prähypertensive Probanden. Ebenso wie Lui et al., 2012 [74] konnten Pescatello et al., 2004 [72] nach 30 Minuten Ausdauertraining bis zu fünf Stunden nach dem Training stärkere PEH-Effekte feststellen. Auch hierbei waren normotensive bis hypertensive (Stadium 1) Teilnehmer in die Studie eingeschlossen. In einer kürzlich durchgeführten Untersuchung von Yan et al., 2021 [75] führten moderate ausdauernde Belastungsprotokolle von 40 Minuten zu einer stärkeren Senkung des BD und zu einer Verbesserung der Endothelfunktion. Ebenso handelte es sich in dieser Studie um junge hypertensive Männer. Allerdings zeigen sich eindeutig die stärksten Reduktionen des BD bei denjenigen Personen mit dem höchsten Ausgangs-BD-Wert [7]. Je höher sich dieser darstellt, umso stärker zeigt sich die absolute Senkung des BD. In der vorliegenden Arbeit waren jedoch nur normotensive Probanden einbezogen; somit ein möglicher Grund für die vergleichsweise geringe PEH nach einem MAT [69].

Die Reduktion des peripheren BD nach der EX-Einheit lässt sich mit einer Metaanalyse vergleichen, in der sich zeigte, dass der PEH-Effekt umso größer war, wenn das Training bei körperlich aktiven Personen und bei Personen, die keine blutdrucksenkenden Medikamente einnahmen, durchgeführt wurde [73].

Die Studie von Pierce et al., 2018 [76] veranschaulichte, dass ein Ausdauertraining im Vergleich zu anderen Trainingsarten bezüglich PEH unterlegen zu sein scheint, welches auch den in der vorliegenden Untersuchung präsentierten Ergebnissen entspricht.

In einer früheren Studie um Polito et al., 2009 [77] war auch das Ausdauertraining im Vergleich zu einem Krafttraining in der peripheren und zentralen BD-Reaktion nach dem Training deutlich unterlegen.

In Bezug auf den peripheren und zentralen BD induzierte das Training im EX eine ähnliche Senkung wie ein Intervalltraining mit mittlerer und höherer Intensität [78,12].

Die Bedeutung der Trainingsart auf die Höhe der PEH konnte bereits in einigen Untersuchungen gezeigt werden. Die Studien demonstrierten, dass ein akutes intermittierendes Training eine größere PEH vermittelt als eine einzelne Ausdauerinheit [79,72]. Diesen Konsens bestätigt die vorliegende Untersuchung, da im EX ein intermittierendes Training von zunächst niedriger-mittlerer bis zu einer hohen Intensität mit kurzen Pausen durchgeführt wurde.

Es ergeben sich mehrere Diskussionsansätze, die in der dargestellten Studie für eine PEH verantwortlich sein könnten.

Zum einen resultiert die signifikante PEH beim peripheren wie zentralen BD höchstwahrscheinlich aus der hohen Trainingsintensität im EX. Die Ergebnisse im ersten Teil der vorliegenden Studie konnten dies bereits zeigen [51].

Die höhere Trainingsintensität während der EX-Session führte möglicherweise zu einem vermehrten Sauerstoffbedarf und -verbrauch in der Arbeitsmuskulatur [23]. Es ist anzunehmen, dass dadurch eine konsekutive Zunahme des peripheren Blutflusses resultierte, der wiederum einen mechanischen Stimulus im Gefäßendothel (Scherbelastung) darstellt. Dieser Scherstress induziert die Freisetzung vasoaktiver Substanzen wie Stickstoffmonoxid (NO) und Prostaglandine. Dadurch wird die vasodilatatorische Wirkung gefördert und insbesondere der zentrale Blutdruck gesenkt [80]. Dieses Resultat bestätigt auch eine Studie mit Jugendlichen von Bond et al., 2015 [13], in der eine höhere Trainingsintensität sogar ein bis zwei Stunden nach dem Training die makro- und mikrovaskuläre Funktion deutlich verbesserte, im Gegensatz zu einer moderaten Ausdauerbelastung.

Weiterhin ist bekannt, dass der erhöhte BD während eines intensiven Trainings Plasma in das Interstitium strömen lässt und somit das Blutvolumen verringern kann [81]. Hierzu wurde festgestellt, dass sich das Plasmavolumen aufgrund der erhöhten Osmolarität nach einem Training stärker als vor einem Training ausdehnen kann. Dieser Mechanismus führt zu einer anhaltenden PEH bis über einer Stunde nach mäßigem bis intensiven Training [81].

Zudem kann diskutiert werden, dass sich neuronale, humorale wie auch vaskuläre Mechanismen und Interaktionen jederzeit auf die PEH auswirken können [81]. Eine höhere Trainingsintensität führt zu einer erhöhten Bioverfügbarkeit von NO [82,83], einer Reduktion von Biomarkern für oxidativen Stress und einer erhöhten antioxidativen Kapazität [84]. Die dadurch ausgelöste persistierende Scherstress-induzierte Vasodilatation ohne Erhöhung des Herzzeitvolumens (HZV) könnte somit für eine PEH [10,11,80,85,86] verantwortlich sein.

Auch eine durch die erhöhte Trainingsintensität induzierte Veränderung der Barorezeptorenfunktion [72] mit anschließender sympathischer Hemmung [87] stellt eine zusätzliche Erklärung für diese BD-Effekte dar.

Ein ergänzender Erklärungsansatz für die unterschiedlichen BD-Reaktionen könnte ein hoher Flüssigkeitsverlust durch übermäßiges Schwitzen darstellen. Da unwesentliche Veränderungen des Körpergewichts der Probanden während der beiden Trainingseinheiten registriert wurden ($-0,39 \pm 0,27$ kg im EX; $0,30 \pm 0,41$ kg beim MAT), scheint der hypotensive Effekt nicht durch einen Gewichtsverlust infolge einer vermehrten Schweißproduktion im EX hervorgerufen worden zu sein [69].

Als weitere Begründung bezüglich der Ursachen für den stärkeren PEH-Effekt nach einer EX-Sitzung kann diskutiert werden, dass das Training im EX ein funktionelles Ganzkörpertraining darstellt, welches alle Muskelgruppen des Körpers beansprucht.

Casonatto et al., 2016 [88] präsentierten, dass eine Beanspruchung größerer Muskelgruppen im Vergleich zur Inanspruchnahme kleinerer Muskelgruppen zu einer stärkeren und anhaltenden BD-Senkung nach einem einzelnen Krafttraining führte. Eine Erklärung für den Einfluss der Muskelmasse auf den Blutdruckabfall nach einem Training könnte eine gesteigerte Durchblutung sein. Die dadurch auftretende Vasodilatation dürfte durch eine höhere Freisetzung vasoaktiver Substanzen (NO, Prostaglandine) zustande gekommen sein [77,80].

Es wird weiterhin angenommen, dass Mechanismen der Histaminrezeptorenaktivierung (H_1 - und H_2 -Rezeptoren) nach einem Training für die PEH verantwortlich zu sein scheinen [85]. Durch eine histaminerge Vasodilatation, besonders hervorgerufen durch das intramuskuläre Histamin, erscheint dies wohl einer der wichtigsten Faktoren für den BD-Abfall nach einem Training bei normotensiven Freizeitsportlern zu sein [89,90].

Zusätzlich wird auch diskutiert, dass der zentrale Baroreflexweg eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung einer PEH spielt. Das Zurücksetzen des arteriellen Baroreflexes aufgrund trainingsinduzierter Veränderungen der Hirnstammkerne, vor allem in der

Medulla oblongata, zeigt sich proportional zur eingesetzten Muskelmasse und könnte somit die PEH beeinflussen [87].

Es gibt bisher wenige Studien, die die Auswirkungen von Exergaming, insbesondere auf den Blutdruck, untersucht haben. Dazu finden sich derzeit fast ausschließlich Untersuchungen von regelmäßigem Exergaming mit einer Dauer zwischen sechs und 24 Wochen [91,92,93].

Ähnlich der vorliegenden Arbeit war nur die Untersuchung von Monteiro-Junior et al., 2014 [94], die die Auswirkung einer zehnminütigen Trainingseinheit mit „Nintendo Wii® Free Run“ auf hämodynamische Reaktionen gesunder Frauen bewertete, die nicht regelmäßig Sport trieben. Hier erreichten die Probandinnen eine maximale Trainings-HF von $176,0 \pm 15,0$ Schläge pro Minute. Diese Belastungsintensität war ausreichend, um akute hämodynamische Veränderungen wie einen Abfall des pSBD und pDBD auszulösen.

Ogleich der periphere BD als primärer und wesentlicher Risikofaktor für kardiovaskuläre Erkrankungen gilt, spiegelt er aber nicht die Hämodynamik im gesamten arteriellen Gefäßsystem wider. Verglichen zum peripheren BD weist der zentrale BD, als genaueres Maß für die tatsächliche hämodynamische Belastung des Herzens, eine erheblich höhere prädiktive Wertigkeit hinsichtlich des Auftretens tödlicher und nicht-tödlicher kardiovaskulärer Ereignisse auf, da er die pulsatile Komponente des BD repräsentiert [95,96]. Ein erhöhter zentraler BD bedeutet eine ungünstige Zunahme des kardialen Afterloads wie auch der linksventrikulären Muskelmasse und verringert den diastolischen Koronarfluss sowie die myokardiale Mikrozirkulation. Auch steht er in signifikanter Beziehung zur Häufigkeit renaler und zerebrovaskulärer Ereignisse. Daher muss bei einem erhöhten zentralen BD auch von einem erhöhten kardiovaskulären Risiko ausgegangen werden, auch wenn möglicherweise der peripher gemessene BD noch im Normbereich liegt [97]. Dies unterstreicht insbesondere die Bedeutung der vorliegenden Ergebnisse. Ein nur 25-minütiges Training im EX reduzierte vor allem den zentralen BD im Vergleich zum MAT mit längerer Belastungsdauer [69].

Diese Tatsache konnte auch eine Studie von Goeder et al., 2017 [98] bestätigen, in der nach einer maximalen Belastung von bis zu drei Stunden ein stärkerer Effekt hinsichtlich der Absenkung des zentralen gegenüber dem peripheren BD beobachtet werden konnte.

Würde ein derartiges EX-Training regelmäßig wiederholt werden, könnte es dadurch zu einer Veränderung der Stellgröße des zentralen BD führen, so dass dauerhaft eine BD-Senkung erreicht werden kann.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand finden sich keine weiteren Untersuchungen zu unterschiedlichen Reaktionen auf den zentralen und peripheren BD.

Die Ergebnisse dieses Studienteils präsentieren eine hohe klinische Relevanz. Im Jahr 2015 gab es Schätzungen zufolge weltweit 1,13 Milliarden erwachsene Patienten mit Bluthochdruck. Jedes Jahr werden circa 7,5 Millionen Todesfälle weltweit auf einen Hypertonus zurückgeführt [99].

Der EX erscheint sich als ein effektives Trainingsinstrument darzustellen, welches akute hämodynamische Reaktionen hervorruft. Diese Tatsache könnte möglicherweise einen größeren Stellenwert in der Prävention kardiovaskulärer Erkrankungen erhalten.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die hier vorliegende Untersuchung belegt, dass sich durch ein 25-minütiges Training im Exergame EX mit dem Spiel Sphery Racer im Vergleich zu einem 35-minütigen MAT auf dem Laufband der periphere und zentrale Blutdruck signifikant reduzieren. Zusätzlich werden im EX Belastungsintensitäten induziert, die derzeit durch kein weiteres Exergame erreicht werden.

Es konnte in den letzten Jahren mehrfach in unterschiedlichsten Forschungsarbeiten belegt werden, dass Trainingseinheiten mit einer hohen Intensität im Vergleich zu moderaten Ausdauertrainingseinheiten eine höhere kardioprotektive Wirkung, eine Verbesserung der muskulären Stoffwechsellkapazität sowie insbesondere eine Erhöhung der $VO_2\text{max}$ zeigen [100,101,102,103].

Dadurch kann vermutet werden, dass diese Anpassungserscheinungen beim EX-Training im Vergleich zu einem MAT ursächlich in einer verbesserten und effizienteren Reizsetzung dieser intensiveren und intermittierenden Trainingsbelastung begründet liegen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stützen die Annahme, dass Exergames, die höhere Trainingsintensitäten induzieren, auch eine größere Körpermuskelmasse beanspruchen und dadurch das Potential zu relevanten physiologischen Anpassungen haben.

Das Training im EX zeichnet sich insbesondere durch eine wesentlich kürzere Trainingszeit aus. Die abwechslungsreichen Ganzkörperbewegungen wie auch die unterschiedlichen audiovisuellen Reize während einer Trainingseinheit im EX wirken sich günstig auf die Motivation der Teilnehmer aus. Die Übungen im Spielverlauf fördern neben Kraft, Ausdauer und Schnelligkeit auch die Koordination und Kognition [35].

Durch das immersive und spielerische Design erscheint der EX ein höheres und attraktiveres Trainingsvergnügen darzustellen als ein reguläres Trainingsprogramm [35].

Auch aufgrund des individualisierten Trainingsansatzes kann sich der EX nicht nur als ein vielversprechendes Instrument für die allgemeine Bevölkerung eignen, sondern möglicherweise zur Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen eingesetzt werden.

5 Schlussfolgerungen

Die im Rahmen dieser Dissertation durchgeführte Studie konnte zeigen, dass ein physisch-kognitiv adaptives, funktionelles und herzfrequenzgesteuertes Fitnesstool namens ExerCube sich bei jungen, gesunden, normotensiven Freizeitsportlern vorteilhaft auf deren hämodynamische Reaktionen auswirken kann. Die Ergebnisse unterstützen zudem die Annahme, dass die höhere Trainingsintensität, die durch die intermittierende Belastung im EX ermöglicht wird, hierbei die entscheidenden physiologischen Adaptionen im Vergleich zu einem MAT hervorrufen. Darüber hinaus konnte durch die Reduktion des erfassten prädiktiven hämodynamischen Parameters des zentralen BD wie auch des peripheren BD erstmals gezeigt werden, dass sich ein EX-Training begünstigend auf das kardiovaskuläre Risikoprofil auswirken könnte. Für den Präventions- und Rehabilitationsbereich lässt sich vermuten, dass sich der EX als ein vielversprechendes und innovatives Trainingstool darstellt und auch langfristig die Trainingsadhärenz erhöht. Dazu bedarf es weiterer umfassender Studien, speziell an unterschiedlichen Altersklientel mit und ohne kardiovaskulären Risikofaktoren wie auch Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Durch zusätzliche prospektive Untersuchungen sollte geprüft werden, ob sich die akuten hämodynamischen Effekte durch ein regelmäßiges Training im EX auch bei langfristigen Interventionen zeigen und einem herkömmlichen Ausdauertraining dementsprechend überlegen sind.

Literaturverzeichnis

1. Lavie CJ, Ozemek C, Carbone S, Katzmarzyk PT, Blair SN. Sedentary Behavior, Exercise, and Cardiovascular Health. *Circ Res.* 2019;124(5):799-815.
2. O'Rourke M. Mechanical principles in arterial disease. *Hypertension.* 1995;26(1):2-9.
3. Mills KT, Stefanescu A, He J. The global epidemiology of hypertension. *Nat Rev Nephrol.* 2020;16(4):223-237.
4. U.S. Department of Health and Human Services. Physical Activity and Health: A Report of the Surgeon General. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, 1996.
5. Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, Carlson SA, Fulton JE, Galuska DA, George SM, Olson ED. The Physical Activity Guidelines for Americans. *JAMA.* 2018;320(19):2020-2028.
6. Bull FC, Al-Ansari SS, Stuart Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, Carty C, Chaput J-P, Chastin S, Chou R, Dempsey PC, DiPietro L, Ekelund U, Firth J, Friedenreich CM, Garcia L, Gichu M, Jago R, Katzmarzyk PT, Lambert E, Leitzmann M, Milton K, Ortega FB, Ranasinghe C, Stamatakis E, Tiedemann A, Troiano RP, van der Ploeg HP, Vicky Wari V, Willumsen JF. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med.* 2020;54:1451-1462.
7. Pescatello LS, Franklin BA, Fagard R, Farquhar WB, Kelley GA, Ray CA. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(3):533-553.

8. Cornelissen VA, Smart NA. Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *J Am Heart Assoc.* 2013;2(1):e004473.
9. Hottenrott K, Ketelhut S, Hottenrott L. Training und Aktivitätscoaching in verschiedenen Altersbereichen. *Bewegungstherapie und Gesundheitssport.* 2017;33:263-267.
10. Halliwill JR. Mechanisms and clinical implications of post-exercise hypotension in humans. *Exerc Sports Sci Rev.* 2001;29(2):65-70.
11. Kenney MJ, Seals DR. Postexercise hypotension. Key features, mechanisms, and clinical significance. *Hypertension.* 1993;22(5):653-664.
12. Milatz F, Ketelhut S, Ketelhut RG. Favorable effect of aerobic exercise on arterial pressure and aortic pulse wave velocity during stress testing. *Vasa.* 2015;44(4):271-276.
13. Bond B, Hind S, Williams CA, Barker AR. The Acute Effect of Exercise Intensity on Vascular Function in Adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(12):2628-2635.
14. Singh JP, Larson MG, Manolio TA, Donnell CJO, Lauer M, Evans JC, Levy D. Blood pressure response during treadmill testing as a risk factor for new-onset hypertension: The Framingham Heart Study. *Circulation.* 1999;99:1831-1836.
15. Ketelhut RG, Franz IW, Scholze J. Regular exercise as an effective longterm approach in antihypertensive therapy. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;1:4-8.
16. Roman MJ, Devereux RB, Kizer JR, Lee ET, Galloway JM, Ali T, Umans JG, Howard BV. Central pressure more strongly relates to vascular disease and outcome than does brachial pressure: the Strong Heart Study. *Hypertension.* 2007;50:197-203.

17. Baulmann J, Weber T, Mortensen K. Messmethoden der Arteriellen Gefäßsteifigkeit. *J Hyperton.* 2010;14(2):18-24.
18. Whelton SP, Chin A, Xin X, He J. Effect of aerobic exercise on blood pressure: A meta-analysis of randomized, controlled trials. *Ann Intern Med.* 2002;136:493-503.
19. Lakka TA, Venäläinen JM, Rauramaa R, Salonen R, Tuomilehto J, Salonen JT. Relation of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness to the risk of acute myocardial infarction. *N Engl J Med.* 1994;330:1549-1554.
20. Ohkawara K, Tanaka S, Miyachi M, Ishikawa-Takata K, Tabata I. A dose-response relation between aerobic exercise and visceral fat reduction: systematic review of clinical trials. *Int J Obes (Lond).* 2007;31:1786-1797.
21. Clarkson P, Montgomery HE, Mullen MJ, Donald AE, Powe AJ, Bull T, Jubbs M, World M, Deanfield JE. Exercise training enhances endothelial function in young men. *J Am Coll Cardiol.* 1999;33:1379-1385.
22. Andersen P, Henriksson J. Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *J Physiol.* 1977;270:677-690.
23. Beck DT, Martin JS, Casey DP, Braith RW. Exercise training reduces peripheral arterial stiffness and myocardial oxygen demand in young prehypertensive subjects. *Am J Hypertens.* 2013;26:1093-1102.
24. Trost SG, Owen N, Bauman AE, Sallis JF, Brown W. Correlates of adults' participation in physical activity: Review and update. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(12):1996–2001.
25. Best JR. Exergaming in Youth: Effects on physical and cognitive health. *J Psychol.* 2013;221(2):72-78.

26. Sween J, Wallington SF, Sheppard V, Taylor T, Llanos AA, Adams-Campbell LL. The Role of Exergaming in Improving Physical Activity: A Review. *J Phys Act Health*. 2014;11(4):864-870.
27. Barnett A, Cerin E, Baranowski T. Active video games for youth: A systematic review. *J Phys Act Health*. 2011;8(5):724-737.
28. LeBlanc AG, Chaput JP, McFarlane A, Colley RC, Thivel D, Biddle SJH, Maddison R, Leatherdale ST, Tremblay MS. Active Video Games and Health Indicators in Children and Youth: A Systematic Review. *PLoS ONE*. 2013; 8(6):e65351.
29. Biddiss E, Irwin J. Active video games to promote physical activity in children and youth: a systematic review. In: *Arch pediatr adolesc med*. 2010;164(7):664-672.
30. Graves LEF, Ridgers ND, Williams K, Stratton G, Atkinson GT, Cable NT. The physiological cost and enjoyment of Wii fit in adolescents, young adults, and older adults. *J Phys Act Health*. 2010;7(3):393-401.
31. Peng W, Crouse JC, Lin JH. Using active video games for physical activity promotion: A systematic review of the current state of research. *Health Educ Behav* 2013;40:171-192.
32. Dutta N, Pereira MA. Effects of active video games on energy expenditure in adults: a systematic literature review. *J Phys Act Health*. 2015;12:890-899.
33. Lyons EJ, Tate DF, Ward DS, Bowling JM, Ribisl KM, Kalyararaman S. Energy expenditure and enjoyment during video game play: Differences by game type. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43:1987-1993.
34. Howe CA, Barr MW, Winner BC, Kimble JR, White JB. The physical activity energy cost of the latest active video games in young adults. *J Phys Act Heal*. 2015;12(2): 171-177.

35. Martin-Niedecken AL, Segura EM, Rogers K. Towards socially immersive fitness games: an exploratory evaluation through embodied sketching. *CHI Play 2019 - Ext Abstr Annu Symp Comput Interact Play*. Published online 2019;525-534.
36. van De Laar RJ, Ferreira I, van Mechelen W, Prins MH, Twisk JW, Stehouwer CD. Lifetime vigorous but not light-to-moderate habitual physical activity impacts favorably on carotid stiffness in young adults: The Amsterdam Growth and Health Longitudinal Study. *Hypertension*. 2010;55:33-39.
37. Schnohr P, Marott JL, Jensen JS, Jensen GB. Intensity versus duration of cycling, impact on all-cause and coronary heart disease mortality: The Copenhagen City Heart Study. *Eur J Prev Cardiol*. 2012;19:73-80.
38. Nes B, Janszky I, Wisløff U, Støylen A, Karlsen T. Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: the HUNT fitness study. *Scand J Med Sci Sports*. 2013;23:697-704.
39. Martin-Niedecken AL, Mahrer A, Rogers K, de Bruin ED, Schättin A. "HIIT" the ExerCube: Comparing the Effectiveness of Functional High-Intensity Interval Training in Conventional vs. Exergame-Based Training. *Front Comput Sci*. 2020;2.
40. Millar-Craig MW, Bischof CN, Raftery EB. Circadian variation of blood-pressure. *Lancette*. 1978;1(8068):795-797.
41. Halberg F, Cornelissen G. Rhythms and blood pressure. *Ann Ist Super Sanita*. 1993;29(4):647-665.
42. Esformes JI, Norman F, Sigley J, Birch KM. The influence of menstrual cycle phase upon postexercise hypotension. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38:484-491.

43. De Brito LC, Fecchio RY, Peçanha T, Lima A, Halliwill J, Forjaz CLDM. Recommendations in Post-exercise Hypotension: Concerns, Best Practices and Interpretation. *Int J Sports Med.* 2019;40(8):487-497.
44. Dickhuth H-H, Huonker M, Münzel T, Drexler H, Berg A, Keul J. Individual Anaerobic Threshold for Evaluation of Competitive Athletes and Patients with Left Ventricular Dysfunction. In: Dickhuth H-H, Huonker M, Münzel T, Drexler H, Berg A, Keul J editors. *Advances in Ergometry.* Berlin Heidelberg: Springer; 1991:173-179.
45. Franssen PM, Imholz BP. Evaluation of the Mobil-O-Graph new generation ABPM device using the ESH criteria. *Blood Press Monit.* 2010;15(4):229-231.
46. Van Bortel L, Duprez D, Starmans-Kool M, Safar M, Giannattasio C, Cockcroft J, Kaiser D, Thuillez C. Clinical applications of arterial stiffness, Task Force III: recommendations for user procedures. *Am J Hypertens.* 2002;15(5):445-452.
47. Martin-Niedecken AL, Rogers K, Vidal LT, Mekler ED, Segura EM. Exercube vs. Personal trainer: Evaluating a holistic, immersive, and adaptive fitness game setup. In: *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*; 2019 May 4-9: Glasgow (Scotland). CHI; 2019:1-15.
48. Martin-Niedecken AL, Mekler ED. The ExerCube: Participatory Design of an Immersive Fitness Game Environment. In: Göbel S, Garcia-Agundez A, Tregel T, Ma M, Hauge JB, Oliveira M, Marsh T, Caserman P. (Eds). *Serious Games. JCSG. 2018 Lecture Notes in Computer Science, Vol 11243* Springer; Cham.
49. Gibson A, Wagner D, Heyward V. (Eds). *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription.* 8th ed. Champaign: Human Kinetics; 2018.
50. Weisell RC. Body mass index as an indicator of obesity. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2002;11:681-684.

51. Ketelhut S, Röglin L, Kircher E, Ketelhut RG, Martin-Niedecken AL, Hottenrott K, Ketelhut K. The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame. *Int J Sports Med.* 2021;43(1):77-82.
52. Peng W, Lin JH, Crouse J. Is playing exergames really exercising? A meta-analysis of energy expenditure in active video games. *Cyberpsychol Behav Soc Netw.* 2011;14:681-688.
53. Bosch PR, Poloni J, Thornton A, Lynskey JV. The heart rate response to Nintendo Wii boxing in young adults. *Cardiopulm Phys Ther J.* 2012;23:13-29.
54. Jordan M, Donne B, Fletcher D. Only lower limb controlled interactive computer gaming enables an effective increase in energy expenditure. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:1465-1472.
55. Willems M, Bond TS. Comparison of physiological and metabolic responses to playing Nintendo Wii sports and brisk treadmill walking. *J Hum Kinet.* 2009;22:43-49.
56. Viana RB, Vancini RL, Vieira CA, Gentil P, Campos MH, Andrade MS. Profiling exercise intensity during the exergame Hollywood Workout on XBOX 360 Kinect®. *PeerJ.* 2018;1-16.
57. Monedero J, Murphy EE, O’Gorman DJ. Energy expenditure and affect responses to different types of active video game and exercise. *PLoS One.* 2017;12:1-13.
58. Berg J, Moholdt T. Game on: A cycling exergame can elicit moderate to-vigorous intensity. A pilot study. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2020;6:e000744.
59. Moholdt T, Weie S, Chorianopoulos K, Wang AI, Hagen K. Exergaming can be an innovative way of enjoyable high-intensity interval training. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2017;3:e000258.3-8.

60. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin B, Lamonte MJ, Lee MI, Niemann DC, Swain DP. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults. *Med Sci Sport Exerc.* 2011;43:1334-1359.
61. Sell K, Lillie T, Taylor J. Energy expenditure during physically interactive video game playing in male college students with different playing experience. *J Am Coll Health.* 2008;56:505-512.
62. Such U, Meyer T. Maximum Heart Rate. *Ger J Exerc Sport Med.* 2010;61:112.
63. Monedero J, McDonnell AC, Keoghan M, O’Gorman DJ. Modified active video-game play results in moderate-intensity exercise. *Games Health J.* 2014;3:234-240.
64. Graves LEF, Ridgers ND, Stratton G. The contribution of upper limb and total body movement to adolescents’ energy expenditure whilst playing Nintendo Wii. *Eur J Appl Physiol.* 2008;104:617-623.
65. Burgomaster K, Howarth K, Phillips S, Rakobowchuk M, MacDonald M, McGee S, Gibala M. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol.* 2008;586(1):151-160.
66. Billat L. Interval training for performance: a scientific and empirical practice: special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med.* 2001;31(1):13-31.
67. Midgley A, McNaughton L, Jones A. Training to Enhance the Physiological Determinants of Long-Distance Running Performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med.* 2007;37(10):857-880.

68. Williams B, Mancia G, Spiering W, Agabiti Rosei E, Azizi M, Burnier M, Clement DL, Coca A, de Simone G, Dominiczak A, Kahan T, Mahfoud F, Redon J, Ruilope L, Zanchetti A, Kerins M, Kjeldsen SE, Kreutz R, Laurent S, Lip GYH, McManus R, Narkiewicz K, Ruschitzka F, Schmieder RE, Shlyakhto E, Tsioufis C, Aboyans V, Desormais I; ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur Heart J*. 2018;39(33):3021-3104.
69. Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut K, Röglin L, Hottenrott K, Martin-Niedecken AL, Ketelhut RG. A Game-Based Approach to Lower Blood Pressure? Comparing Acute Hemodynamic Responses to Endurance Exercise and Exergaming: A Randomized Crossover Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19(3):1349.
70. Missal P, Ketelhut RG. Effekt von Ausdauer- und Krafttraining auf hämodynamische Parameter und Herzfrequenzvariabilität. In: Hottenrott K, Ketelhut S, Böckelmann E, Schmidt H (eds) Herzfrequenzvariabilität: Methoden und Anwendungen in Sportwissenschaft, Arbeits- und Intensivmedizin sowie Kardiologie. Feldhaus, Hamburg 2017:77-87.
71. Ketelhut R, Franz IW. The Effects of Acute and Chronic Exercise on Blood Pressure in Hypertensive Patients. In: Franz IW, Mellerowicz H, Noack W (eds: Training and Sport for Prevention and Rehabilitation in the Technicized Environment. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokio 1985:704-708.
72. Pescatello LS, Guidry MA, Blanchard BE, Kerr A, Taylor AL, Johnson AN, Maresh CM, Rodriguez N, Thompson PD. Exercise intensity alters postexercise hypotension. *J Hypertens*. 2004;22:1881-1888.
73. Carpio-Rivera E, Moncada-Jiménez J, Salazar-Rojas W, Solera-Herrera A. Acute effects of exercise on blood pressure: A meta-analytic investigation. *Arq Bras Cardiol*. 2016;106(5):422-433.

74. Liu S, Goodman J, Nolan R, Lacombe S, Thomas SG. Blood pressure responses to acute and chronic exercise are related in prehypertension. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(9):1644-1652.
75. Yan Y, Wang Z, Wang Y, Li X. Effects of acute moderate intensity exercise at different duration on blood pressure and endothelial function in young male patients with stage 1 hypertension. *Clin Exp Hypertens.* 2021;5:1-8.
76. Pierce DR, Doma K, Raiff H, Golledge J, Leicht AS. Influence of exercise mode on post-exercise arterial stiffness and pressure wave measures in healthy adult males. *Front Physiol.* 2018;9:1468.
77. Polito MD, Farinatti PT V. The Effects of Muscle Mass and Number of Sets During Resistance Exercise on Postexercise Hypotension. *J Strength Cond Res.* 2009;23(8):2351-2357.
78. Ketelhut S, Milatz F, Heise W, Ketelhut RG. Influence of a high-intensity interval training session on peripheral and central blood pressure at rest and during stress testing in healthy individuals. *Vasa - Eur J Vasc Med.* 2016;45(5):373-377.
79. Jones H, Taylor CE, Lewis NCS, George K, Atkinson G. Post-exercise blood pressure reduction is greater following intermittent than continuous exercise and is influenced less by diurnal variation. *Chronobiol Int.* 2009;26(2):293-306.
80. Romero SA, Minson CT, Halliwill JR. The cardiovascular system after exercise. *J Appl Physiol (1985).* 2017;122(4):925-932.
81. MacDonald JR. Potential causes, mechanisms, and implications of post exercise hypotension. *J Hum Hypertens.* 2002;16(4):225-236.
82. Korsager LM, Matchkov VV. Hypertension and physical exercise: the role of oxidative stress. *Medicina (Kaunas).* 2016;52(1):19-27.

83. Wisløff U, Støylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognmo Ø, Haram PM, Tjønnå AE, Helgerud J, Slørdahl SA, Lee SJ, Videm V, Bye A, Smith GL, Najjar SM, Ellingsen Ø, Skjærpe T. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: A randomized study. *Circulation*. 2007;115(24):3086-3094.
84. Fiuza-Luces C, Garatachea N, Berger NA, Lucia A. Exercise is the real polypill. *Physiology (Bethesda)*. 2013;28(5):330-358.
85. Halliwill JR, Buck TM, Lacewell AN, Romero SA. Postexercise hypotension and sustained postexercise vasodilatation: what happens after we exercise? *Exp Physiol*. 2013;98(1):7-18.
86. Halliwill JR, Sieck DC, Romero SA, Buck TM, Ely MR. Blood pressure regulation X: What happens when the muscle pump is lost? Post-exercise hypotension and syncope. *Eur J Appl Physiol*. 2015;114:561-578.
87. Chen CY, Bonham AC. Postexercise hypotension: Central mechanisms. *Exerc Sport Sci Rev*. 2010;38(3):122-127.
88. Casonatto J, Goessler KF, Cornelissen VA, Cardoso JR, Polito MD. The blood pressure-lowering effect of a single bout of resistance exercise: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Eur J Prev Cardiol*. 2016;23(16):1700-1714.
89. Lockwood JM, Wilkins BW, Halliwill JR. H1 receptor-mediated vasodilatation contributes to postexercise hypotension. *J Physiol*. 2005;563(2):633-642.
90. Barrett-O'Keefe Z, Kaplon RE, Halliwill JR. Sustained postexercise vasodilatation and histamine receptor activation following small muscle-mass exercise in humans. *Exp Physiol*. 2013;98(1):268-277.

91. McBain T, Weston M, Crawshaw P, Haighton C, Spears I. Development of an exergame to deliver a sustained dose of high-intensity training: Formative pilot randomized trial. *J. Med. Internet Res.* 2018;20(3).
92. Carvalho MS De, Carvalho LC, Menezes FDS, Frazin A, Gomes EDC, Iunes DH. Effects of Exergames in Women with Fibromyalgia: A Randomized Controlled Study. *Games Health J.* 2020;9(5):358-367.
93. Staiano AE, Beyl RA, Guan W, Hendrick CA, Hsia DS, Newton RL. Home-based exergaming among children with overweight and obesity: a randomized clinical trial. *Pediatrics.* 2018;13(11):724-733.
94. Monteiro-Junior RS, Figueiredo LF, Conceição I, Carvalho C, Lattari E, Mura G, Machado S, Silva EB. Hemodynamic responses of unfit healthy women at a training session with Nintendo Wii: A possible impact on the general well-being. *Clin Pract Epidemiol Ment Health.* 2014;10:172-175.
95. Nürnberger J. Bedeutung des zentralen und des peripheren Blutdrucks für die Einstellung der arteriellen Hypertonie [Importance of central and peripheral blood pressure for adjustment of arterial hypertension]. *Herz.* 2012;37(7):735-741.
96. Sever PS. The Anglo-Scandinavian Cardiac Outcomes Trial. Implications and Further Outcomes. *Hypertens.* 2012;60(2):248-259.
97. Mengden T. Zentraler Blutdruck gewinnt an Bedeutung. *Druckpunkt.* 2008;(2):24-25.
98. Goeder D, Böhm B, Oberhoffer R, Müller J. Postexercise changes in peripheral and central blood pressure during a 24-hour ambulatory blood pressure monitoring in healthy young men. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 2019;59:1593-1598.

99. Mills KT, Bundy JD, Kelly TN, Reed JE, Kearney PM, Reynold K, Chen J, He J. Global disparities of hypertension prevalence and control. *Circulation*. 2016;134(6):441-450.
100. Kessler HS, Sisson SB, Short KR. The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. *Sports Med*. 2012;42(6):489-509.
101. Ramos JS, Dalleck LC, Tjonna AE, Beetham KS, Coombes JS. The impact of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on vascular function: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2015;45(5):679-692.
102. Milanović Z, Sporiš G, Weston M. Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO₂max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Med*. 2015;45(10):1469-1481.
103. Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, Raha S, Tarnopolsky MA. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Am J Physiol*. 2006;575(3):901-911.

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Eva Kircher, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Vergleich hämodynamischer und kardiorespiratorischer Parameter zwischen einem interaktiven Videospiel und einem moderaten Ausdauertraining“ („Comparison of hemodynamic and cardiorespiratory parameters between an interactive video game and a moderate endurance training“) selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum: 20.05.2022

Unterschrift:

Anteilserklärung an den erfolgten Publikationen

Eva Kircher hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation 1:

Ketelhut S, Röglin L, Kircher E, Ketelhut RG, Martin-Niedecken AL, Hottenrott K, Ketelhut K. The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame. *Int J Sports Med.* 2021;43(1):77-82.

Beitrag im Einzelnen:

Entwicklung der Studienidee: Meine beiden Betreuer Prof. Dr. Dr. Reinhard G. Ketelhut (Erstbetreuer) und Dr. Sascha Ketelhut (Zweitbetreuer) hatten die ursprüngliche Idee zu diesem Projekt; 60% der Ideen entstammen von mir.

Grundlegende Fragestellungen und Hypothesen: Diese entwickelte ich zu 80%. Das Feintuning fand durch meine beiden Betreuer statt.

Studiendesign: Das Studiendesign habe ich gemeinsam mit meinem Zweitbetreuer Dr. Sascha Ketelhut entworfen. 50% entstammen davon von mir.

Stichprobenauswahl und Rekrutierung: 10% entstammen von mir (Verfassen des Anschreibens); Dr. Sascha Ketelhut realisierte dazu den größten Teil.

Exergame-Intervention: Frau Anna-Lisa Martin-Niedecken entwarf diese Intervention und leistete den technischen Support.

Literaturrecherche: Zu dieser Thematik habe ich mit 65% zur Literaturrecherche beigetragen, die in dieser Publikation zitiert wurde. Der restliche Teil erfolgte durch Dr. Sascha Ketelhut.

Datenerhebung: Die Durchführung der anthropometrischen und hämodynamischen Messungen erfolgte zusammen mit meinem Zweitbetreuer. Daran war ich zu 70% beteiligt. Die spiroergometrischen Messungen wurden nach entsprechender Einweisung durch meinen Zweitbetreuer mit diesem gemeinsam durchgeführt.

Protokollierung der beiden Trainingsarten: Der größte Teil (70%) der Protokollierungen wurde von mir durchgeführt; 30% realisierte mein Zweitbetreuer gemeinsam mit mir.

Dateneingabe und Aufbereitung der Daten: 0%; Die Eingabe und Aufbereitung der spiroergometrischen Daten erfolgte ausschließlich durch meinen Zweitbetreuer Dr. Sascha Ketelhut.

Statistische Analyse und Datenauswertung: 0%; Dies erfolgte ausschließlich durch meinem Zweitbetreuer Dr. Sascha Ketelhut.

Interpretation der Daten: An der Dateninterpretation war ich zu 10% beteiligt (insbesondere an der Herzfrequenz); die restlichen Ideen und Anleitungen erfolgten durch meinen Erstbetreuer Prof. Dr. Dr. Reinhard G. Ketelhut.

Abbildungen und Tabellen: Die Tabellen 1 und 2 erstellte ich als Rohfassung. Die weitere Entwicklung geschah in Absprache und Zusammenarbeit mit meinen beiden Betreuern, so dass ich dazu 25% dieser Arbeit leistete.

Verfassen der Publikation: Ich wirkte beim Methoden- und Ergebnisteil mit; diese beiden Teile verfasste ich als Erstentwurf; der Rest erfolgte in Zusammenarbeit mit meinen beiden Betreuern. Hier leistete ich insgesamt 35% der Arbeit.

Einreichung des Manuskripts mit gesamtem Reviewprozess: Dies geschah mit wesentlicher Unterstützung durch meinen Zweitbetreuer. Ich verbesserte das Manuskript nach den jeweiligen Angaben der Reviewer und bereitete die Publikation nach den Vorgaben des Journals auf. Meine Arbeitsleistung dazu betrug 45%.

Publikation 2:

Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut K, Röglin L, Hottenrott K, Martin-Niedecken AL, Ketelhut RG. A Game-Based Approach to Lower Blood Pressure? Comparing Acute Hemodynamic Responses to Endurance Exercise and Exergaming: A Randomized Crossover Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19(3):1349.

Beitrag im Einzelnen:

Entwicklung der Studienidee: Meine beiden Betreuer Prof. Dr. Dr. Reinhard G. Ketelhut (Erstbetreuer) und Dr. Sascha Ketelhut (Zweitbetreuer) hatten die ursprüngliche Idee zu diesem Projekt; 60% der Ideen entstammen von mir.

Grundlegende Fragestellungen und Hypothesen: Diese entwickelte ich zu 80%. Das Feintuning fand durch meine beiden Betreuer statt.

Studiendesign: Das Studiendesign habe ich gemeinsam mit meinem Zweitbetreuer Dr. Sascha Ketelhut entworfen. 50% entstammen davon von mir.

Stichprobenauswahl und Rekrutierung: 10% entstammen von mir (Verfassen des Anschreibens); Dr. Sascha Ketelhut realisierte dazu den größten Teil.

Exergame-Intervention: Frau Anna-Lisa Martin-Niedecken entwarf diese Intervention und leistete den technischen Support.

Literaturrecherche: Zu dieser Thematik habe ich mit 100% zur Literaturrecherche beigetragen, die in dieser Publikation zitiert wurde.

Datenerhebung: Die Durchführung der anthropometrischen und hämodynamischen Messungen erfolgte zusammen mit meinem Zweitbetreuer. Daran war ich zu 70% beteiligt. Die spiroergometrischen Messungen wurden nach entsprechender Einweisung durch meinen Zweitbetreuer mit diesem gemeinsam durchgeführt.

Protokollierung der beiden Trainingsarten: Der größte Teil (70%) der Protokollierungen wurde von mir durchgeführt; 30% realisierte mein Zweitbetreuer gemeinsam mit mir.

Dateneingabe und Aufbereitung der Daten: Die Eingabe und Aufbereitung der anthropometrischen und hämodynamischen Daten erfolgte ausschließlich durch mich. Die spirometrische Dateneingabe wie Aufbereitung erfolgte ausschließlich durch meinen Zweitbetreuer. Mein Anteil beträgt somit 90% dieser Arbeit.

Statistische Analyse und Datenauswertung: Dies erfolgte durch mich unter Mithilfe eines Statistikers. Mein Anteil beträgt somit 80% dieser Arbeit.

Interpretation der Daten: An der Dateninterpretation war ich zu 90% beteiligt; die restlichen Ideen und Anleitungen erfolgten durch meinen Erstbetreuer Prof. Dr. Dr. Reinhard G. Ketelhut.

Abbildungen und Tabellen: Alle Tabellen und Abbildungen in dieser Publikation wurden ausschließlich von mir erstellt, so dass ich dazu 100% dieser Arbeit leistete.

Verfassen der Publikation: Beim Verfassen der Publikation habe ich den ersten Entwurf des Abstracts, der Einleitung, des Methodenteils sowie der Diskussion und den Schlussfolgerungen mit Limitationen verfasst. Dieser wurde anschließend gemeinsam mit meinen beiden Betreuern mehrmals überprüft, bearbeitet und finalisiert. Hierzu leistete ich 80% der Arbeit.

Einreichung des Manuskripts mit gesamtem Reviewprozess: Dies geschah mit wesentlicher Unterstützung durch meinen Zweitbetreuer. Ich verbesserte das Manuskript nach den jeweiligen Angaben der Reviewer und bereitete die Publikation nach den Vorgaben des Journals auf. Meine Arbeitsleistung dazu betrug 45%.

Unterschrift, Datum und Stempel des/der erstbetreuenden Hochschullehrers/in

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

Auszug aus der Journal Summary List für Publikation 1

Scimagojr

Year: 2020; Subject Category: Physical Therapy, Sports Therapy and Rehabilitation; Gesamtanzahl: 210 Journals

Rank	Title	SJR	SJR Quartile	H index	Total Docs. (2020)	Total Docs. (3 years)	Total Refs.	Total Cites (3 years)
1	British Journal of Sports Medicine	4.329	Q1	171	394	1156	11234	7715
2	Sports Medicine	4.092	Q1	184	152	563	11242	5291
3	American Journal of Sports Medicine	3.021	Q1	221	464	1301	16320	7409
4	International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity	2.652	Q1	117	160	441	9843	3636
5	International Journal of Sports Physiology and Performance	2.278	Q1	66	218	660	6225	2717
6	Exercise and Sport Sciences Reviews	1.945	Q1	99	27	117	1782	596
7	Journal of Science and Medicine in Sport	1.724	Q1	99	244	716	7533	2840
8	Journal of Teaching in Physical Education	1.706	Q1	56	58	107	2835	505
9	Medicine and Science in Sports and Exercise	1.703	Q1	224	320	956	11363	4161
10	Physical Education and Sport Pedagogy	1.669	Q1	36	81	132	4239	724
11	Journal of Physiotherapy	1.615	Q1	68	93	253	1700	621
12	Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports	1.575	Q1	115	277	738	11342	2923
13	Journal of Strength and Conditioning Research	1.569	Q1	128	427	1260	1053	3685
14	Qualitative Research in Sport, Exercise and Health	1.482	Q1	35	87	132	5156	768
15	Science and Medicine in Football	1.437	Q1	12	84	149	3054	392
16	Journal of Sport Management	1.424	Q1	67	50	105	3306	482
17	Research in Sports Medicine	1.397	Q1	35	74	140	2657	496
18	Journal of Sport and Health Science	1.386	Q1	36	138	233	7126	1155
19	Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy	1.367	Q1	121	113	502	3023	1308
20	Archives of Physical Medicine and Rehabilitation	1.305	Q1	188	289	917	11172	3351
21	Sport, Education and Society	1.287	Q1	63	130	207	7132	862
22	Biology of Sport	1.279	Q1	27	56	146	2204	436
23	European Journal of Sport Science	1.252	Q1	55	282	452	11110	1742

Rank	Title	SJR	SJR Quartile	H index	Total Docs. (2020)	Total Docs. (3 years)	Total Refs.	Total Cites (3 years)
24	Sports Health	1.212	Q1	44	93	220	2907	697
25	Journal of Sports Sciences	1.208	Q1	137	357	1025	15837	3137
26	Journal of Athletic Training	1.188	Q1	108	156	451	5503	1375
27	Clinical Rehabilitation	1.15	Q1	110	180	525	5627	1780
28	Sports Medicine - Open	1.15	Q1	23	59	151	3744	651
29	Sport, Exercise, and Performance Psychology	1.137	Q1	20	51	84	1979	299
30	Applied Ergonomics	1.093	Q1	98	232	682	11314	2995
31	European Physical Education Review	1.081	Q1	44	83	135	4552	490
32	Journal of Neurologic Physical Therapy	1.046	Q1	52	38	134	1387	327
33	International Journal of Sports Medicine	1.012	Q1	105	186	405	8439	1139
34	Physical Therapy	0.998	Q1	150	217	430	8774	1108
35	Clinical Journal of Sport Medicine	0.99	Q1	102	125	256	798	684
36	Measurement in Physical Education and Exercise Science	0.982	Q1	40	41	97	1609	256
37	Physiotherapy	0.961	Q1	56	102	185	3292	522
38	Brazilian Journal of Physical Therapy	0.959	Q1	35	96	199	3745	577
39	Journal of Head Trauma Rehabilitation	0.948	Q1	99	85	282	3386	790
40	European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine	0.926	Q1	57	123	341	3852	902
41	BMJ Open Sport and Exercise Medicine	0.913	Q1	18	123	356	5122	984
42	Physical Therapy in Sport	0.906	Q1	46	169	358	5880	840
43	Journal of Rehabilitation Medicine	0.893	Q1	96	131	354	3217	907
44	Musculoskeletal Science and Practice	0.87	Q1	89	145	353	5705	827
45	BMC Obesity	0.86	Q1	18	0	104	0	287
46	Curriculum Studies in Health and Physical Education	0.839	Q1	17	22	63	897	114
47	Pediatric Exercise Science	0.839	Q1	63	32	207	1257	396
48	Ergonomics	0.816	Q1	110	136	420	7080	1206
49	Journal of Sports Science and Medicine	0.815	Q1	65	89	260	3806	738
50	Research Quarterly for Exercise and Sport	0.793	Q1	90	166	192	6938	517
51	Clinics in Sports Medicine	0.78	Q1	81	66	170	3179	367
52	Journal of Exercise Science and Fitness	0.771	Q2	22	26	56	986	194

Druckexemplar der Publikation 1

Ketelhut S, Röglin L, Kircher E, Ketelhut RG, Martin-Niedecken AL, Hottenrott K, Ketelhut K. The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame. *Int J Sports Med.* 2021;43(1):77-82.

<https://doi.org/10.1055/a-1520-4742>

Auszug aus der Journal Summary List für Publikation 2

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2020** Selected Editions: SCIE
 Selected Categories: **“PUBLIC, ENVIRONMENTAL and OCCUPATIONAL HEALTH”** Selected Category Scheme: WoS
Gesamtanzahl: 203 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	MMWR Surveillance Summaries	3,806	58.769	0.012980
2	MMWR Recommendations and Reports	3,288	55.857	0.011230
3	Lancet Global Health	16,662	26.763	0.051650
4	Annual Review of Public Health	9,927	21.981	0.013560
5	Lancet Public Health	5,793	21.648	0.014840
6	Lancet Planetary Health	2,540	19.173	0.008590
7	MMWR-MORBIDITY AND MORTALITY WEEKLY REPORT	31,127	17.586	0.078080
8	BULLETIN OF THE WORLD HEALTH ORGANIZATION	19,297	9.408	0.015980
9	AMERICAN JOURNAL OF PUBLIC HEALTH	51,398	9.308	0.056870
10	ENVIRONMENTAL HEALTH PERSPECTIVES	48,245	9.031	0.028380
11	JOURNAL OF TRAVEL MEDICINE	5,260	8.490	0.004900
12	EUROPEAN JOURNAL OF EPIDEMIOLOGY	11,622	8.082	0.017840
13	TOBACCO CONTROL	10,279	7.552	0.015380
14	INTERNATIONAL JOURNAL OF EPIDEMIOLOGY	30,944	7.196	0.045590
15	Current Environmental Health Reports	1,967	7.122	0.004720
16	ENVIRONMENTAL RESEARCH	28,576	6.498	0.034260
17	JOURNAL OF CLINICAL EPIDEMIOLOGY	36,224	6.437	0.028360
18	JOURNAL OF TOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL HEALTH-PART B-CRITICAL REVIEWS	2,226	6.393	0.001410
19	Current Pollution Reports	1,107	6.373	0.001940

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
20	EPIDEMIOLOGIC REVIEWS	3,938	6.222	0.002790
21	Travel Medicine and Infectious Disease	5,034	6.211	0.003430
22	Environmental Health	7,567	5.984	0.009260
23	INTERNATIONAL JOURNAL OF HYGIENE AND ENVIRONMENTAL HEALTH	7,425	5.840	0.008110
24	INDOOR AIR	7,488	5.770	0.005760
25	DRUG SAFETY	6,817	5.606	0.006840
26	Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology	5,227	5.563	0.004500
27	BMJ Global Health	4,992	5.558	0.018060
28	Evolution Medicine and Public Health	758	5.425	0.001860
29	International Journal of Transgenderism	1,381	5.333	0.002130
30	AMERICAN JOURNAL OF PREVENTIVE MEDICINE	28,400	5.043	0.037310
31	SCANDINAVIAN JOURNAL OF WORK ENVIRONMENT & HEALTH	6,700	5.024	0.004530
32	JOURNAL OF ADOLESCENT HEALTH	20,914	5.012	0.024870
33	AMERICAN JOURNAL OF EPIDEMIOLOGY	43,617	4.897	0.031670
34	Antimicrobial Resistance and Infection Control	3,629	4.887	0.008170
35	EPIDEMIOLOGY	16,437	4.822	0.016740
36	Health Reports	1,781	4.796	0.001770
37	Clinical Epidemiology	4,754	4.790	0.010760
38	PALLIATIVE MEDICINE	7,332	4.762	0.009100
39	SOCIAL SCIENCE & MEDICINE	57,968	4.634	0.052130
40	ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HEALTH	6,557	4.609	0.004550
41	GeoHealth	381	4.529	0.001190

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
42	Journal of Global Health	2,764	4.413	0.007500
43	OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL MEDICINE	11,253	4.402	0.008990
44	JOURNAL OF RURAL HEALTH	2,866	4.333	0.004050
45	CANCER EPIDEMIOLOGY BIOMARKERS & PREVENTION	23,046	4.254	0.021910
46	NICOTINE & TOBACCO RESEARCH	11,360	4.244	0.016740
47	Globalization and Health	3,266	4.185	0.015780
48	LGBT Health	1,684	4.151	0.005290
49	QUALITY OF LIFE RESEARCH	19,584	4.147	0.017860
50	JMIR Serious Games	641	4.143	0.000970
51	JMIR Public Health and Surveillance	2,430	4.112	0.005860
52	HEALTH & PLACE	9,762	4.078	0.010030
53	PUBLIC HEALTH NUTRITION	18,093	4.022	0.019490
54	PREVENTIVE MEDICINE	20,705	4.018	0.028980
55	PAEDIATRIC AND PERINATAL EPIDEMIOLOGY	4,004	3.980	0.004310
56	JOURNAL OF HOSPITAL INFECTION	12,760	3.926	0.011240
57	International Journal of Health Geographics	3,384	3.918	0.002450
58	One Health	829	3.800	0.001560
59	ANNALS OF EPIDEMIOLOGY	8,616	3.797	0.011210
60	Journal of Infection and Public Health	3,870	3.718	0.006030
61	JOURNAL OF EPIDEMIOLOGY AND COMMUNITY HEALTH	18,466	3.710	0.015600
62	Frontiers in Public Health	8,172	3.709	0.017640
63	Environmental Health and Preventive Medicine	2,240	3.674	0.002340

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
64	JOURNAL OF URBAN HEALTH-BULLETIN OF THE NEW YORK ACADEMY OF MEDICINE	5,637	3.671	0.005810
65	Digital Health	676	3.495	0.001640
66	REVIEWS ON ENVIRONMENTAL HEALTH	1,686	3.458	0.001180
67	INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL HEALTH RESEARCH	2,047	3.411	0.001320
68	International Journal of Environmental Research and Public Health	66,102	3.390	0.092950
69	COMMUNITY DENTISTRY AND ORAL EPIDEMIOLOGY	6,027	3.383	0.002770
70	International Journal of Public Health	4,500	3.380	0.006110
71	HEALTH EXPECTATIONS	4,873	3.377	0.008540
72	EUROPEAN JOURNAL OF PUBLIC HEALTH	8,937	3.367	0.013520
73	BMC PUBLIC HEALTH	57,109	3.295	0.080580
74	Epidemiology and Health	1,725	3.282	0.003200
74	NEUROEPIDEMIOLOGY	4,484	3.282	0.004260
76	INFECTION CONTROL AND HOSPITAL EPIDEMIOLOGY	12,884	3.254	0.015830
77	Health Promotion and Chronic Disease Prevention in Canada-Research Policy and Practice	597	3.240	0.001670
78	Reproductive Health	5,442	3.223	0.010640
79	JOURNAL OF EPIDEMIOLOGY	4,219	3.211	0.005850
80	Current Epidemiology Reports	803	3.161	0.002960
81	BIOMEDICAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES	3,087	3.118	0.002280
82	PSYCHIATRIC SERVICES	13,896	3.084	0.013030
83	Prehospital Emergency Care	3,310	3.077	0.005380
84	Translational Behavioral Medicine	2,467	3.046	0.004970

Druckexemplar der Publikation 2

Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut K, Röglin L, Hottenrott K, Martin-Niedecken AL, Ketelhut RG. A Game-Based Approach to Lower Blood Pressure? Comparing Acute Hemodynamic Responses to Endurance Exercise and Exergaming: A Randomized Crossover Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19(3):1349.

<https://doi.org/10.3390/ijerph19031349>

Lebenslauf

„Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektrischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.“

Komplette Publikationsliste

Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften

Ketelhut S, **Kircher E**, Ketelhut SR, Wehlan E, Ketelhut K. Effectiveness of Multi-activity, High-intensity Interval Training in School-aged Children. *Int J Sports Med.* 2020;41(4):227-232. (IF 2.750).

Ketelhut S, Röglin L, **Kircher E**, Ketelhut RG, Martin-Niedecken AL, Hottenrott K, Ketelhut K. The New Way to Exercise? Evaluating an Innovative Heart-rate-controlled Exergame. *Int J Sports Med.* 2021;43(1):77-82. (IF 3.118).

Röglin L, Ketelhut S, Ketelhut K, **Kircher E**, Ketelhut RG, Martin-Niedecken AL, Hottenrott K, Stoll O. Adaptive High-Intensity Exergaming: The More Enjoyable Alternative to Conventional Training Approaches Despite Working Harder. *Games Health J.* 2021;10(6):400-407. (IF 4.070).

Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut K, Röglin L, Martin-Niedecken AL, Hottenrott K, Ketelhut RG. Acute Effects of Heart Rate-Controlled Exergaming on Vascular Function in Young Adults. *Games Health J.* 2022;11(1):58-66. (IF 4.070).

Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut K, Röglin L, Hottenrott K, Martin-Niedecken AL, Ketelhut RG. A Game-Based Approach to Lower Blood Pressure? Comparing Acute Hemodynamic Responses to Endurance Exercise and Exergaming: A Randomized Crossover Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(3):1349. (IF 3.390).

Ketelhut S, Ketelhut RG, **Kircher E**, Röglin L, Hottenrott K, Martin-Niedecken-AL, Ketelhut K. Gaming Instead of Training? Exergaming Induces High-Intensity Exercise Stimulus and Reduces Cardiovascular Reactivity to Cold Pressor Test. *Front. Cardiovasc. Med.* 2022;9:798149. doi: 10.3389/fcvm.2022.798149. (IF 5.846).

Beiträge in Tagungsberichtsbanden

Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut SR, Wehlan E, Ketelhut K. Hochintensives Intervalltraining in der Schule – Effekte auf die Ausdauerleistungsfähigkeit und hämodynamische Parameter. Nieren- und Hochdruckkrankheiten, 47/11. 42. Wissenschaftlicher Kongress, Deutsche Hochdruckliga e.V. DHL®, Deutsche Gesellschaft für Hypertonie und Prävention, (2018). (IF 0 – allerdings bei AWMF online begutachtete Zeitschriften ohne Impactfaktor aufgelistet).

Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut SR, Wehlan E, Ketelhut K. Hochintensives Intervalltraining in der Schule – Effekte auf die motorische Leistungsfähigkeit und den Blutdruck. 24. dvs-Hochschultag Berlin, 09/2019. Sport im öffentlichen Raum. Schriften der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Band 282, S. 187. Feldhaus Verlag.

Ketelhut S, **Kircher E**, Ketelhut SR, Wehlan E, Ketelhut K. Hochintensives Intervalltraining verbessert die Gefäßcompliance und die sympatho-vagale Balance bei Schulkindern. 24. dvs-Hochschultag Berlin, 09/2019. Sport im öffentlichen Raum. Schriften der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Band 282, S. 186. Feldhaus Verlag.

Ketelhut S, **Kircher E**, Ketelhut SR, Wehlan E, Ketelhut K. The effectiveness of high-intensity interval training on improving cardiometabolic health and endurance capacity in school aged children: A pilot randomized controlled Trial

In: European College of Sport Science:

Book of Abstracts of the 23rd Annual Congress of the European College of Sport Science – 4th - 7th July 2018, Dublin – Ireland.

Edited by Murphy M, Boreham C, De Vito G, Tsolakidis E.

ISBN 978-3-9818414-1-1

Copyright by European College of Sport Science

Kircher E, Ketelhut S, Röglin L, Martin-Niedecken AL, Hottenrott K, Ketelhut K, Ketelhut RG. Spielend den Blutdruck senken: Post-Exercise Hypotension beim Exergaming im ExerCube. German Journal of Sports Medicine 72 3/2021. Nr. 44 PS-08-002 Entwicklungen im Bereich E-und M-Health. (IF 0.557).

Beiträge auf wissenschaftlichen Kongressen/Symposien**Poster**

Ketelhut S, **Kircher E**, Ketelhut SR, Wehlan E, Ketelhut K. The effectiveness of high-intensity interval training on improving cardiometabolic health and endurance capacity in school aged children: A pilot randomized controlled trial.

Conference Paper: 23rd Annual Congress of the European College of Sport Science, 4-7-July 2018, Dublin - Ireland

Ketelhut S, **Kircher E**, Ketelhut SR, Wehlan E, Hottenrott K, Ketelhut K. Effects of a school-based high-intensity intermittent exercise on heart rate variability and arterial stiffness.

Conference Paper: 24th Annual Congress of the European College of Sport Science, 3. – 6. July 2019, Prague - Czech Republic,

Kircher E. Die Wirksamkeit eines Schulsportkurses auf die motorische Leistungsfähigkeit. Eine Untersuchung an der Hans-Meier-Realschule Ichenhausen.

Poster: 19. DSLV-Schulsportkongress 2019, 12. Oktober in Reutlingen, Deutschland

Ketelhut S, Martin-Niedecken AL, **Kircher E**, Röglin L, Ketelhut RG, Hottenrott K, Ketelhut K. Evaluating the exercise intensity during an exergame session in the ExerCube.

Poster: ECSS 2020 - 25th Anniversary Congress of the European College of Sports Science, 28. -30. October 2020, Sevilla, Spain

Kircher E, Ketelhut S, Röglin L, Martin-Niedecken AL, Hottenrott K, Ketelhut K, Ketelhut RG. Spielend den Blutdruck senken: Post-Exercise Hypotension beim Exergaming im ExerCube.

Poster: Sports, Medicine and Health Summit 2021, vom 20.- 24. April 2021 in Hamburg, Deutschland

Vorträge

Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut SR, Wehlan E, Ketelhut K. Hochintensives Intervalltraining in der Schule – Effekte auf die Ausdauerleistungsfähigkeit und hämodynamische Parameter. 42. Wissenschaftlicher Kongress, Deutsche Hochdruckliga e.V. DHL®, Deutsche Gesellschaft für Hypertonie und Prävention, 23.11.2018, Berlin.

Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut SR, Wehlan E, Ketelhut K. Hochintensives Intervalltraining in der Schule – Effekte auf die motorische Leistungsfähigkeit und den Blutdruck. 24. dvs-Hochschultag Berlin, 19.09.2019. Sport im öffentlichen Raum.

Kircher E, Ketelhut S, Ketelhut SR, Wehlan E, Ketelhut K. Der Einfluss eines hochintensiven Intervalltrainings auf die motorische Leistungsfähigkeit und verschiedene hämodynamische Parameter bei Grundschulkindern.
19. DSLV-Schulsportkongress 2019, 12.10.2019 in Reutlingen.

Fachzeitschriften - Sport

Kircher E. Haben Schulsportkurse Einfluss auf die motorische Leistungsfähigkeit bei Kindern? Eine Untersuchung an der Hans-Maier-Realschule Ichenhausen.
Skisport 2017, Januar/ Februar 2017, Jg. 48, Heft Nr. 1. (IF 0).

Kircher E. Interventionsstudie zu Schulsportkursen. Eine Untersuchung zum Einfluss eines Schulsportkurses auf die motorische Leistungsfähigkeit bei Realschülern der 7. Jahrgangsstufe. Themenbereich: Lehre und Didaktik.
Dezember 2017, ISSN 1864 – 5593, Jg. 35, Heft 50, Jubiläumsausgabe
FdSnow, Fachzeitschrift für den Skisport
Hrsg.: Freunde des Skisports e.V., im Deutschen Skiverband (aktiv DSV). (IF 0).

Kircher E. Die Wirksamkeit eines Schulsportkurses auf die motorische Leistungsfähigkeit.
Snowsport - 03/ 2016-2017
Hrsg.: Deutscher Skilehrerverband (DSLVB). (IF 0).

Kircher E. Sportpraxis reflektiert: Auswirkungen eines Schulsikurses auf die motorische Leistungsfähigkeit. SportPraxis - 06/ 2020. 61. Jahrgang
Hrsg.: Prof. Dr. Stefan König; Limpert-Verlag. (IF 0).

Pressemitteilungen

Ketelhut S, **Kircher E**, Ketelhut SR, Wehlan E, Ketelhut K. Kurzes, intensives Training verbessert Gesundheit von Kindern

Pressemitteilung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Nummer 018/2020 vom 05. Februar 2020

Bücher

Mitautorin

Buchtitel: Notfallsanitäter. Stuttgart, Thieme-Verlag 2022. Thema: Neurologische Notfälle.

Derzeit in Bearbeitung

Danksagung

Hiermit möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. med. habil. Dr. rer. nat. Prof. h.c. Reinhard G. Ketelhut für sein Vertrauen sowie seine Betreuung und Unterstützung bedanken.

Ein ganz besonderer Dank gebührt meinem Zweitbetreuer Dr. rer. medic. Sascha Ketelhut für seine unermüdliche Art der Unterstützung und der Motivation sowie für die Ermöglichung der Nutzung der Räumlichkeiten und medizinischen Geräte an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Frau Prof. Dr. Kerstin Ketelhut danke ich insbesondere dafür, dass sie mich zu dieser Promotion ermutigt hat.

Ferner sei allen Probanden gedankt, ohne die diese Studie nicht möglich gewesen wäre. Weiterhin danke ich der Firma I.E.M. Stolberg, Deutschland für die Bereitstellung des Untersuchungsgeräts für die hämodynamischen Messungen. Darüber hinaus möchte ich auch der Sphery AG (Schweiz) für die Bereitstellung des ExerCube danken.

Auch Herrn Prof. Dr. Jochen Klenk sei für seine Bereitschaft, mich in der statistischen Datenanalyse zu unterstützen, herzlich gedankt.

Dankbar bin ich einer besonderen Freundin, die mich bei diesem Vorhaben bestärkt und zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.