Medizinische Fakultät
der
Universität Duisburg-Essen

Aus dem Lehrstuhl für Geriatrie

Kopfverletzungen bei Frauen im American Football
Eine klinische Studie bei aktiven Spielerinnen vor und nach einer Saison im Vergleich zu gesunden Kontrollprobandinnen

I n a u g u r a l d i s s e r t a t i o n
zur
Erlangung des Doktorgrades der Medizin
durch die Medizinische Fakultät
der Universität Duisburg-Essen

Vorgelegt von
Jana Katharina Fahr
aus Essen
2024

DuEPublico
Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN
Offen im Denken

ub universitäts bibliothek

Diese Dissertation wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt und liegt auch als Print-Version vor.

DOI: 10.17185/duepublico/83581
URN: urn:nbn:de:hbz:465-20250602-114811-6

Alle Rechte vorbehalten.

Dekan:	Herr Univ.-Prof. Dr. med. J. Buer
1. Gutachter:	Herr Univ.-Prof. Dr. med. Richard Dodel
2. Gutachterin:	Frau Prof. Dr. med. N. Özkan

Tag der mündlichen Prüfung: 19. März 2025

VERÖFFENTLICHUNGEN

Publikationen

- „Concussion and Nerve Injuries in Female Athletes of Combat Sports: a Scoping Review" - Jana Fahr, Oliver Kraff, Cornelius Deuschl, Richard Dodel (Orthopedic Journal of Sports Medicine, im Druck)
- „Short-Term Effects of Head Injuries in Female German American Football Players" - Jana Fahr, Tobias Blum, Lars Herzog, Oliver Kraff, Cornelius Deuschl, Richard Dodel (eingereicht)

Posterpräsentationen

- „Concussion and Nerve Injuries in Female Athletes of Combat Sports" - 20. Forschungstag der Medizinischen Fakultät Essen (2021)

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 EINLEITUNG 6

1.1 Gehirnerschütterung 6

1.2 Chronisch-traumatische Enzephalopathie 6

1.3 American Football 6

1.3.1 Regelunterschiede zwischen Frauen und Männern 7

1.4 Gehirnerschütterungen bei Sportlerinnen – aktueller Literaturstand 7

1.4.1 Inzidenz von Gehirnerschütterung 8

1.4.2 Biomechanik 11

1.4.3 Biomarker 12

1.4.4 Bildgebung 13

1.4.5 Outcome 14

2 FRAGESTELLUNGEN 18

3 PROBANDINNEN UND METHODEN 19

3.1 Probandinnenkollektiv 19

3.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien 19

3.2 Studienablauf 19

3.3 Methoden 21

3.3.1 MRT-Untersuchung 21

3.3.2 Anamnese und klinische Untersuchung 21

3.3.3 Fragebögen und neuropsychologische Testung 21

3.3.4 Laboruntersuchung 27

3.4 Statistik 28

4 ERGEBNISSE 29

4.1 Soziodemographische Daten 29
4.2 Spielerinnen – Positionen und Spielerfahrung 31
4.3 Charlson - Komorbiditätsindex.....33
4.4 Global Physical Activity Questionnaire.....33
4.5 Neuropsychologische Testungen – kognitive Veränderungen 34
4.6 Neuropsychologische Testungen – emotionale Veränderungen.....36
4.6.1 Beck-Depressions-Inventar II 36
4.6.2 Apathy Evaluation Scale.....40
4.7 Gesundheitsbezogene Lebensqualität 44
5 DISKUSSION 47
5.1 Interpretation der Ergebnisse.....47
5.1.1 Kognitive Veränderungen.....47
5.1.2 Emotionale Veränderungen 48
5.2 Limitationen.....49
5.3 Relevanz für weitere Forschungsprojekte 50
5.4 Ausblick.....51
6 ZUSAMMENFASSUNG.....52
7 ABSTRACT 53
8 LITERATURVERZEICHNIS.....54
9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 60
10 TABELLENVERZEICHNIS 61
11 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....62
12 DANKSAGUNG 64
13 LEBENSLAUF.....65

1 EINLEITUNG

1.1 Gehirnerschütterung

Das *Consensus Statement on Concussion in Sport* definiert Gehirnerschütterungen (engl. Concussions) als eine traumatische Verletzung des Gehirns, die durch biomechanische Kräfte ausgelöst wird. Diese kann durch einen indirekten oder direkten Stoß gegen den Kopf verursacht werden und zu neurologischen Symptomen oder neuropathologischen Veränderungen führen. Der Symptomkomplex von Gehirnerschütterungen kann eine Vielzahl diagnostischer Zeichen beinhalten: somatische, kognitive und/oder emotionale Symptome; physikalische Zeichen; Beeinträchtigungen der Balance; Verhaltensveränderungen; kognitive Einschränkungen und Störungen des Schlaf-/Wach-Rhythmus (McCrory et al., 2017).

1.2 Chronisch-traumatische Enzephalopathie

Die Chronisch-traumatische Enzephalopathie (CTE) ist eine gefürchtete Konsequenz repetitiver Gehirnerschütterungen und subkonkussiver Kopfanpralltraumata. Sie ist eine neurodegenerative Erkrankung, in der Tau-Proteine in einem spezifischen Muster in Neuronen und Astrozyten akkumuliert. Häufig wird sie bei Kontaktsportler:innen, Militärangehörigen und Individuen, die andere repetitive Traumata des Kopfes erfahren haben, festgestellt. CTE kann in eine Vielzahl von Symptomen resultieren, man geht von zwei Subtypen aus: der erste Subtyp beinhaltet Stimmungs- und/oder Verhaltensveränderungen, der zweite äußert sich durch kognitive Defizite. Zusätzlich können Individuen motorische Einschränkungen entwickeln (Montenigro et al., 2014). Seit Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts werden Studien zu CTE durchgeführt, bis heute gibt es jedoch keine Studien, die sich auf weibliche Sportlerinnen fokussieren.

1.3 American Football

American Football ist eine aus den USA stammende Ballsportart. Ziel des Spiels ist es, als Mannschaft die meisten Punkte zu erzielen. Punkte können durch das Tragen des ovalen Balls in die gegnerische Endzone (Touchdown) oder das Schießen des Balls durch

die Torpfosten (Field Goal) erreicht werden. Während des Spiels hat immer eine Mannschaft das Angriffsrecht (Offense), die andere Mannschaft verteidigt (Defense). Die Offense hat vier Versuche, um eine Distanz von 10 Yards zu überwinden und dadurch vier neue Versuche zu erhalten (First Down). Schafft sie dies nicht oder fängt die Defense den Ball ab (Interception oder Fumble) wechselt das Angriffsrecht (Turnover). Ein Spielzug gilt als beendet, wenn der Ball nicht gefangen oder der Ballträger durch die gegnerische Defense durch einen Tackle gestoppt wird.
Zur Pflichtausrüstung gehören beim American Football ein Helm mit Kinnriemen und Gesichtsgitter, ein Mundschutz, ein Shoulder-Pad und eine Hose mit Schaumstoff-schonern an Oberschenkeln, Hüften, Knien und Steißbein. Zusätzlich tragen viele Spieler:innen Noppenschuhe (Schraubstollen sind nicht erlaubt) und Handschuhe mit Polsterung oder klebriger Handinnenfläche.

1.3.1 Regelunterschiede zwischen Frauen und Männern

Die grundlegenden Regeln sind bei Männern und Frauen im American Football gleich. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf die Regularien in Deutschland:
In der ersten und zweiten German Football League (GFL 1 und 2) der Männer stehen 11 Spieler pro Mannschaft auf dem Feld, in der ersten Damenbundesliga (DBL 1) sind es ebenfalls 11 Spielerinnen. In der zweiten Damenbundesliga (DBL 2) und den Aufbau-ligen spielt man 9 gegen 9, es fehlen jeweils zwei Offensive Linemen pro Seite.
In den Herrenligen und der ersten Damenliga werden vier Viertel zu je 12 Minuten gespielt, zwischen dem zweiten und dritten Viertel erfolgt eine Pause von 15 Minuten. In der DBL 2 wird pro Viertel nur für 10 Minuten gespielt.
Im Damenfootball existiert die Möglichkeit, bei Vorsprung eines Teams von über 35 Punkten die Mercy-Rule anzuwenden, bei der die Spielzeit zwischen den Spielzügen nicht mehr gestoppt wird, sondern die Uhr weiterläuft.
Zusätzlich dürfen Damenmannschaften mit einem etwas kleineren Jugendball spielen (Deutschland, 2021).

1.4 Gehirnerschütterungen bei Sportlerinnen – aktueller Literaturstand

16% aller Kontaktsportler:innen in Deutschland sind weiblich. Diese Zahl reicht von 9,8% im Eishockey bis zu 44% im Feldhockey (Tabelle 1) (Sportbund, 2019).

Tabelle 1 *Anzahl der Kontaktsportler:innen in Deutschland*

	Frauen[1]	Männer[1]	Gesamt[2]	Vereine[2]
American Football	23.262 (346%)	44.033 (65,4%)	67.295	450
Boxen	15.416 (19,5%)	63.481 (80,5%)	78.897	886
Feldhockey	38.071 (44,3%)	47.879 (55,7%)	85.950	376
Eishockey	2.019 (9,8%)	18.576 (90,2%)	20.595	100
Rugby	3.105 (19,1%)	13.129 (80,9%)	16.234	133
Fußball	1.115.785 (15,6%)	6.016.151 (84,4%)	7.131.936	25.544
Gesamt	1.197.658 (16,2%)	6.203.249 (83,8%)	7.400.907	27.489

[1] *Anzahl (prozentual)* [2] *Anzahl*

Neueste Studien beschäftigen sich mit Inzidenz, Biomechanik, Biomarkern, Bildgebung und dem Outcome von Gehirnerschütterungen. Da für American Football keine Übersichtsarbeiten für weibliche Spielerinnen vorlagen, wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt (Fahr et al., 2024). Für die Literaturrecherche wurde die Datenbank PubMed durchsucht. Die Suche schloss Studien ein, die zwischen Januar 2000 und November 2020 publiziert wurden.

22 Artikel konnten für das Review genutzt und in fünf Überthemen geordnet werden: Inzidenz von Gehirnerschütterungen, Biomechanik, Biomarker, Bildgebung und Outcome (Fahr et al. 2024).

1.4.1 Inzidenz von Gehirnerschütterung

Acht Studien beschäftigten sich mit der Inzidenz von Gehirnerschütterungen (Commotio cerebri) bei Kontaktsportler:innen. (Tabelle 2). Die Häufigkeit der Gehirnerschütterungen wurde von drei Studien als Verletzungen pro 1000 *player-hours in matches* (phs, Spielstunden in Wettkämpfen) (Fuller et al., 2005; Lopez et al., 2016; Vedung et al., 2020) und von vier Studien als Verletzungen pro 1000 *athlete-exposures in competition and practice* (AEs, Expositionen in Wettkämpfen und Training)(Agel et al., 2007a; Collins et al., 2014; Dick et al., 2007; Schick and Meeuwisse, 2003) angegeben. Eine Studie verglich die Verletzungsrate zwischen Frauen und Männern mittels der *injury*

proportion ratio (IPR), um den Anteil an Gehirnerschütterungen in Bezug auf andere Verletzungen zu beschreiben (Fraser et al., 2017). Die Studien untersuchten Spielerinnen der Sportarten Fußball (Collins et al., 2014; Dick et al., 2007; Fuller et al., 2005; Vedung et al., 2020), Eishockey (Agel et al., 2007a; Schick and Meeuwisse, 2003) und Rugby (Lopez et al., 2016). Studien zur Inzidenz von Gehirnerschütterungen bei Frauen im American Football oder Boxen konnten nicht gefunden werden.

Um die Rate von Gehirnerschütterungen zu beurteilen begutachteten Agel et al. Daten der *National Collegiate Athletic Association (NCAA) injury surveillance* für Eishockey bei Frauen. Gehirnerschütterungen machten den größten Anteil von Verletzungen in Wettkämpfen und Trainingseinheiten aus, wobei das Risiko während eines Spiels etwa 8,2-fach höher als während eines Trainings war (2,72 vs. 0,33/1000AEs). Verglichen mit einer Studie über Eishockey bei Männern hatten Frauen eine höhere Inzidenz von Gehirnerschütterungen. Hierbei stellte der Spieler:innenkontakt den Hauptverletzungsmechanismus dar, sowohl bei Frauen als auch bei Männern (Agel et al., 2007a; Agel et al., 2007b).

Dick et al. und Agel et al. nutzten die gleiche Methode zur Erfassung der Gehirnerschütterungsrate bei Fußballspieler:innen. Auch hier zeigte sich eine höhere Inzidenz für Spielerinnen. Das Risiko für das Erleiden einer Gehirnerschütterung war im Vergleich von Wettkämpfen zu Trainingseinheiten 12-fach erhöht (Agel et al., 2007c; Dick et al., 2007).

In einer Studie von Collins et al. bezüglich der Stärke der Nackenmuskulatur als Risikofaktor für Gehirnerschütterungen zeigten Daten für Fußball- und Basketballspieler:innen eine signifikant höhere Inzidenz von Gehirnerschütterungen für Spielerinnen. Während Wettkämpfen war das Risiko für Frauen 1,8-mal höher als für Männer (Collins et al., 2014).

Fraser et al. fokussierten sich in einer Studie ausschließlich auf Verletzungen beim Ballkontakt und nutzten ebenfalls das *NCAA injury surveillance program*, welches insgesamt elf Sportarten beinhaltete. Die Daten waren für Basketball, Baseball und Fußball zwischen Männern und Frauen vergleichbar und zeigten, dass bei Frauen ein höherer Anteil von Verletzungen beim Ballkontakt als Gehirnerschütterungen diagnostiziert wurde als bei Männern (Fraser et al., 2017).

Fuller et al. untersuchten die Verletzungsrate mithilfe von Videoaufnahmen von FIFA Fußballspielen. Die Rate von Gehirnerschütterungen war 2,4-mal höher für Frauen als für Männer (2,6 vs. 1,1/1000phs). Zusätzlich konnten Unterschiede bezüglich Ballbesitz und Intention gezeigt werden: In den meisten Fällen wurden Verletzungen bei Frauen in fairen Spielsituationen ausgelöst, verletzt wurde hierbei die nicht-ballbesitzende Spielerin. Bei Männern wurde meistens der ballbesitzende Spieler in einer unfairen Auseinandersetzung verletzt. Grundsätzlich resultierten die Verletzungen von Kontakt mit der oberen Extremität (35%) oder dem Kopf (30%) (Fuller et al., 2005).

Das *Rugby Injury Survey and Evaluation (RISE report) tool* wurde von Lopez et al. genutzt, um Gehirnerschütterungen in amerikanischen Rugby 7s Wettkämpfen aufzulisten. Der Unterschied in der Inzidenz zwischen Männern und Frauen erreichte keine statistische Signifikanz. Die hauptsächliche Ursache für eine Gehirnerschütterung war für alle Spieler:innen der Kontakt mit einem Gegner in einem Tackle oder einem Zusammenprall (Lopez et al., 2016).

Dementgegen steht eine Studie von Schick et al., in der Eishockey-Teams der *Canada West Universities Athletic Association* beobachtet wurden. Hier zeigte sich eine höhere Inzidenz von Gehirnerschütterungen für Frauen, Männer erlitten jedoch einen höheren Prozentsatz an Gehirnerschütterungen, die in einen größeren Zeitverlust, bis sie wieder zum Sport zurückkehren konnten, resultierten. Die meistverletzte Region war bei Frauen der Kopf, bei Männern der Oberschenkel. 96% der Verletzungen bei Frauen und 79% der Verletzungen bei Männern wurden durch Kontakt mit dem Gegner oder der Bande ausgelöst (Schick and Meeuwisse, 2003).

Eine Studie im schwedischen Spitzenfußball konnte keinen signifikanten Unterschied der Inzidenz von Gehirnerschütterungen zwischen Frauen und Männern nachweisen (Vedung et al., 2020).

Sieben der acht Studien wiesen eine höhere Inzidenz an Gehirnerschütterungen für Frauen nach (Agel et al., 2007a; Collins et al., 2014; Dick et al., 2007; Fraser et al., 2017; Fuller et al., 2005; Lopez et al., 2016; Schick and Meeuwisse, 2003), zwei der Studien erreichten dabei statistische Signifikanz (OR = 1.8, 95 % CI 1.36‑2.49 (Collins et al., 2014); injury proportion ratio: 2.33, 95% confidence interval: 1.63, 3.33 (Fraser et al., 2017)). Generell traten Gehirnerschütterungen häufiger während Wettkämpfen als im Training auf, sowohl bei Frauen als auch bei Männern (Agel et al., 2007a; Agel et al.,

2007b; Agel et al., 2007c; Dick et al., 2007). Vier Studien zeigten außerdem, dass der häufigste Mechanismus für das Erleiden einer Gehirnerschütterung der Kontakt mit einem/r gegnerischen Spieler:in war (Agel et al., 2007a; Dick et al., 2007; Fuller et al., 2005; Schick and Meeuwisse, 2003).

1.4.2 Biomechanik

Die Biomechanik befasst sich mit mechanischen Vorgängen in Organismen. Bezüglich Gehirnerschütterungen hinterfragen Studien die Stärke der Nackenmuskulatur als anthropometrische Messung, sowie Frequenz und Ausmaß von Anpralltraumata als mögliche Risikofaktoren.

Die Studien beinhalten die Sportarten Boxen, Hockey und Fußball, Studien zu American Football oder Rugby wurden bei Frauen bislang nicht durchgeführt.

Brainard et al. statteten Eishockeyspieler:innen mit instrumentierten Helmen aus, um festzustellen, mit welcher Frequenz und mit welchem Ausmaß Kopfanstöße erlitten wurden. Spielerinnen erlitten hierbei eine signifikant niedrigere Anzahl an Anschlägen pro AE (1,7±0,7 vs. 2,9±1,2) und signifikant niedrigere lineare und drehende Beschleunigungslevel des Kopfes als männliche Spieler (Brainard et al., 2012).

Wie bereits weiter oben erwähnt, führten Collins et al. eine Studie zur Stärke von Nackenmuskulatur als Risikofaktor für Gehirnerschütterungen durch. Spieler:innen, die eine Gehirnerschütterung erlitten, hatten signifikant kleinere Nackenumfänge, kleinere Verhältnisse von Nackenumfang zu Kopfumfang und schwächere Nackenmuskulatur in Extension, Flexion und Seitbewegung als nichtverletzte Spieler:innen. Die Autor:innen schlugen die Stärke der Nackenmuskulatur als einen signifikanten Indikator für das Erleiden einer Gehirnerschütterung vor und sagten aus, dass für jedes Pfund Zunahme an Nackenstärke die Wahrscheinlichkeit einer Gehirnerschütterung um 5% abnehmen würde (Collins et al., 2014).

Wenn Frauen in einem kontrollierten Umfeld einen Ball köpfen, zeigen sie dabei im Kopf-Hals-Segment 15% weniger Masse und 5% weniger Länge, sowie 12% weniger Nackenumfang, 50% weniger isometrische Stärke in der Nackenflexion und 53% weniger Stärke in der isometrischen Nackenextension als Männer (Tierney et al., 2008).

Um Frequenz und Ausmaß von direkten Kopfanstößen im Frauenfußball zu messen, nutzte eine amerikanische Studie *smart impact monitor accelerometers* in Kombination

mit Videoaufnahmen des Felds. Hierbei konnten für unbeabsichtigte Kopfanstöße (Kopf-gegen-Kopf-Anprall und Ablenker) höhere lineare Beschleunigungen festgestellt werden, als für beabsichtigte (Schüsse, klären, Pässe) (Lamond et al., 2018).

Stojsih et al. untersuchten Amateurboxer:innen mithilfe des *Instrumented Boxing Headgear*, einem drahtlosen System, welches aus zwölf axialen linearen Beschleunigungssensoren besteht, die zur Messung von translationaler und drehender Beschleunigung durch Kopfanschläge genutzt werden. Das Ausmaß der Anschläge war ähnlich zwischen den Geschlechtern, Boxerinnen hatten jedoch signifikant niedrigere Höchstwerte und eine signifikant niedrigere Frequenz an Anschlägen (Stojsih et al., 2010).

Vergleichbar zeigte eine Studie zu Eishockeyspieler:innen, dass Frauen verglichen mit Männern signifikant weniger Kopfanschläge pro Training, Spiel und Saison erhielten und diese in ein geringeres Beschleunigungsausmaß resultierten (Wilcox et al., 2014a). Aus einem Kontakt mit einem/r gegnerischen Spieler:in oder der Bande resultierende Kopfanschläge resultierten in ein größeres Bewegungsausmaß und traten häufiger bei Männern auf (Wilcox et al., 2014b).

Die Ergebnisse der Studien zeigten, dass Eishockeyspielerinnen und Boxerinnen weniger Kopfanpralltraumata erfahren als männliche Sportler. Die Traumata lösen bei Eishockeyspielerinnen ein geringeres Ausmaß an linearer und drehender Beschleunigung aus. Bei Boxer:innen lassen sich keine Unterschiede im Ausmaß der Anschläge feststellen. Bezüglich der anthropometrischen Messungen zeigten die Studien, dass Individuen mit schwächerer Nackenmuskulatur ein höheres Risiko haben, eine Gehirnerschütterung zu erleiden. Bei Fußballspielerinnen, die einen Ball köpfen, konnte festgestellt werden, dass diese im Vergleich zu männlichen Fußballspielern eine signifikant schwächere Nackenmuskulatur haben.

1.4.3 Biomarker

Biomarker werden genutzt, um physiologische oder pathologische Prozesse bestimmen zu können. Bislang wurden vielfach Studien zur Identifizierung und Objektivierung von Gehirnerschütterungen und CTE durchgeführt, die gezeigt haben, dass ein Anstieg an Tau-Protein, leichtem Neurofilament, S-100B oder Neuronen-spezifischer Enolase (NSE) mit diesen assoziiert sein könnten (Pan et al., 2016; Shahim et al., 2018). Diese

Studien bestanden jedoch entweder ausschließlich aus männlichen Probanden oder untersuchten Geschlechtsunterschiede nicht weiter (Vedung et al., 2020).
Eine Studie fokussierte sich auf Biomarker bei Kontaktsportlerinnen und nutzte venöse Blutproben von Fußballspielerinnen vor und nach einem Wettkampf auf S-100B und NSE. Zusätzlich wurde für jede Spielerin über eine Videoanalyse die Anzahl an Kopfanpralltraumata (Kopfbälle, Kollisionen, Stürze) abgeschätzt. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Anstieg beider Biomarker nach dem Wettkampf, der Anstieg an S-100B korrelierte signifikant mit der Anzahl an Anpralltraumata des Kopfes. Da die Ergebnisse in Übereinstimmung mit Untersuchungen bei männlichen Spielern waren, kann vermutet werden, dass Biomarker für beide Geschlechter gleich benutzt werden könnten (Stalnacke et al., 2006).

1.4.4 Bildgebung

Die kranielle Computertomographie (CT) gilt als Bildgebung der Wahl zur Bewertung akuter Verletzungen mit eventuell dringlicher OP-Indikation, wie Frakturen oder großer hämorrhagischer Läsionen. Kleine Verletzungsmuster oder sekundäre Effekte wie Ödeme, Infarzierungen oder Blutungen können jedoch aufgrund des ungenügenden Weichteilkontrasts häufig nicht dargestellt werden (Currie et al., 2016). Die Magnetresonanztomographie (MRT) bietet hingegen einen hohen Weichteilkontrast und eine breite Auswahl an Pulssequenzen mit unterschiedlichen Bildwichtungen. Trotz der langen Anfertigungszeit und Kompatibilitätsproblemen mit medizinischen Implantaten und metallischen Instrumenten wird das MRT dem CT als überlegen angesehen, da es ein deutlich breiteres Spektrum an Läsionen feststellen kann. Die verbreitetste Messung der Diffusionsgewichteten Bildgebung (DTI) ist die fraktionale Anisotropie (FA), die genutzt werden kann, um eine Intaktheit des Marklagers zu beschreiben und Läsionen des Fasertrakts festzustellen, die durch Scherkräfte bei traumatischen Hirnverletzungen ausgelöst werden können. Bei Patient:innen mit milden Schädel-Hirn-Traumata zeigt die DTI eine Abnahme in der FA, obwohl keine weiteren Pathologien in CT oder MRT festgestellt werden konnten (Kim et al., 2013; Lipton et al., 2009). Bei mittelschweren oder schweren Schädel-Hirn-Traumata kann die DTI bis zu 18 Monate posttraumatisch Veränderungen nachweisen, die in Korrelation mit dem funktionellen Outcome stehen (Wilde et al., 2012).

Eine Studie von Ghajari et al. nutzte Verletzungsmodellierungen, um verschiedene Typen von Kopfanpralltraumata zu simulieren (Helm-gegen-Helm Kollision, ebenerdiger Sturz und Verkehrsunfall) und hierdurch eine Umrisskarte der Scherkräfte an der Grenze von grauer zu weißer Substanz erstellen zu können. Die Ergebnisse der Modelversuche wurden mit DTI-Messungen von Patient:innen mit Schädel-Hirn-Trauma verglichen und zeigten, dass die Deformation des Hirngewebes in den Sulkuslokationen am größten war. Die Proband:innen waren sowohl männlich als auch weiblich, die Ergebnisse wurden jedoch nicht geschlechtergetrennt aufgeführt (Ghajari et al., 2017).
Helmer et al. untersuchten Eishockeyspieler:innen vor und nach einer Saison. Sie nutzten Suszebtibilitätsgewichtete Bildgebung (SWI) um Veränderungen des Hirngewebes und zerebrale Mikroblutungen festzustellen und hiermit einen *hyperintensity burden index* (HBI) zu kalkulieren. Eishockeyspielerinnen hatten zu Beginn und am Ende der Saison einen niedrigeren HBI als Spieler. Nach der Saison konnte sowohl bei Spielern als auch bei Spielerinnen ein Anstieg des HBI festgestellt werden, bei Spielerinnen war dieser jedoch nicht signifikant (Helmer et al., 2014).
Eine Studie zum Köpfen im Fußball nutzte DTI und FA um festzustellen, ob eine höhere Exposition an Kopfbällen zu mikrostrukturellen Veränderungen der zerebralen weißen Substanz führte und ob es regionale Geschlechtsunterschiede gibt. Bei weiblichen Probandinnen konnten acht Regionen identifiziert werden, in denen eine größere Belastung mit einer niedrigeren FA assoziiert war, bei männlichen Probanden wurden nur drei Regionen gefunden. In den meisten Regionen, in denen Frauen bei höherer Exposition eine niedrigere FA zeigten, verhielten sich die Ergebnisse bei Männern entgegengesetzt und äußerten sich durch eine höhere FA (Rubin et al., 2018).
Die Studien zeigen, dass die Deformation des Hirngewebes in Lokalisationen am größten ist, die bei CTE mit einer Tau-Pathologie assoziiert sind. Eishockey Spielerinnen haben einen niedrigeren HIB nach einer Saison als Spieler, bei Fußballspielerinnen lassen sich jedoch mehr Regionen feststellen, die eine Assoziation zwischen einer höheren Exposition an Kopfbällen und einem niedrigeren FA zeigen als Spieler.

1.4.5 Outcome

Das Outcome einer Gehirnerschütterung kann über die neurokognitive Performance, den Schweregrad der Verletzung (gemessen an der zur Rückkehr zur vollen Aufmerksamkeit

benötigten Zeit) oder über das Auftreten von Verhaltensauffälligkeiten oder psychologischen Symptomen untersucht werden.

Broshek et al. untersuchten Spieler:innen verschiedener Sportarten (Fußball, Feldhockey, Lacrosse, Basketball, Cheerleading, American Football, Wrestling, Andere) auf High School und College Niveau mithilfe des *Concussion Resolution Index* (CRI) an der Baseline und nach dem Erleiden einer Gehirnerschütterung. Der CRI ist ein neurokognitives Beurteilungsinstrument, das einfache und komplexe Reaktionszeit (*simple and complex reaction time*, SRT und CRT) und die Verarbeitungsgeschwindigkeit (*processing speed*, PS) testet, sowie eine Checkliste für Symptome einer Gehirnerschütterung beinhaltet (Kaushik and Erlanger, 2006). Sportlerinnen wiesen eine größere Verschlechterung an kognitiven Funktionen auf (signifikant für SRT und CRT) und berichteten über signifikant mehr Symptome. Das Verteilungsmuster an Symptomen war ähnlich zwischen männlichen und weiblichen Spieler:innen, Frauen berichteten jedoch signifikant häufiger über Konzentrationsschwierigkeiten, Erschöpfung, Benommenheit und Sehstörungen. Der Schweregrad der Verletzung wurde über die AAN und Cantu Bewertungskriterien (Cantu, 2001) getestet und zeigte insgesamt keine Geschlechtsunterschiede, Spieler erlebten jedoch doppelt so oft wie Spielerinnen einen Bewusstseinsverlust (Broshek et al., 2005).

Um Geschlechtsunterschiede in neurokognitiver Performance und Symptomen nach einer Gehirnerschütterung zu ermitteln, testeten Covassin et al. Fußballspieler:innen. mit der ImPACT Testbatterie (Inc.). Die Ergebnisse zeigten bei Frauen eine signifikant schlechtere Leistungsfähigkeit für verbales und visuelles Gedächtnis, sowohl an der Baseline als auch acht Tage nach einer Gehirnerschütterung. Für motorische Verarbeitungsgeschwindigkeit und Reaktionszeit konnten keine Geschlechtsunterschiede festgestellt werden. Spielerinnen äußerten acht Tage nach einer Gehirnerschütterung insgesamt mehr Symptome einer Gehirnerschütterung, sowie verhältnismäßig mehr Symptome aus dem Komplex der Migräne-Erschöpfungs- und der Schlaf-Gruppe als Spieler (Covassin et al., 2013).

Dougan et al. führten eine große Metaanalyse durch, um zu bestimmen, welche im Voraus bestehenden Charakteristika von Sportler:innen mit einem höheren Verlust an neurokognitiven Funktionen zehn Tage nach einer Gehirnerschütterung assoziiert werden können. Die Sportaktivitäten beinhalteten American und Australian Football, Boxen,

Eishockey, Rugby und Fußball. Alle Studien mit Footballspielern inkludierten jedoch nur männliche Spieler. Zusammen mit jungem Alter, High School Wettkampfniveau und wenigen Bildungsjahren wurde weibliches Geschlecht als Risikofaktor für größere Defizite aufgeführt. Männer berichteten hier jedoch über mehr Symptome (Dougan et al., 2014).

Eine Studie von Ellemberg et al. über andauernde kognitive Einschränkungen bei Fußballspielerinnen nutzte die *Post Concussive Symptom Checklist* (Aubry et al., 2002) und zehn neuropsychologische Tests sechs bis acht Monate nach einer Gehirnerschütterung. Hierbei wurden exekutive Funktionen, Aufmerksamkeit, visuomotorische Fähigkeiten, Lernen und Gedächtnis getestet. Alle eingeschlossenen Gehirnerschütterungen wurden nach der AAN-Klassifikation als zweitgradig eingestuft. Verglichen mit einer nicht-verletzten Kontrollgruppe zeigten die Fälle signifikante Verschlechterungen in Inhibitionsgeschwindigkeit, Flexibilität, Planungs- und Antwortzeit (Ellemberg et al., 2007).

Wie bereits zuvor erwähnt führten Lopez et al. eine Studie bei Rugbyspieler:innen durch. Nach der Diagnose einer Gehirnerschütterung berichteten Spielerinnen über einen signifikant längeren Zeitraum, bevor sie zum Vollkontakt zurückkehren konnten, als Spieler (36,7 Tage vs. 27,9 Tage) (Lopez et al., 2016).

Gegensätzliche Ergebnisse erbrachte eine Studie über Verletzungen im Eishockey, bei der Spielerinnen nach einer Verletzung weniger Expositionen verpassten als Spieler (4,15% vs. 8,05% aller Expositionen) (Schick and Meeuwisse, 2003).

In einem Review wurden Studien zu Gehirnerschütterungen und Köpfen im Fußball und dem neurokognitiven Outcome zusammengetragen. Eine Studie beschrieb einen niedrigeren Score für Reaktionszeit bei Spielerinnen, sowie eine schlechtere Performance bei Scores für Gedächtnis und visuelle Verarbeitung bei Spieler:innen, die bereits eine Gehirnerschütterung erlitten hatten. Eine weitere Studie konnte mithilfe der ImPACT Testbatterie (Inc.) keine Geschlechtsunterschiede an der Baseline und zehn Tage nach einer Gehirnerschütterung feststellen. In beiden Studien berichteten Spielerinnen jedoch über signifikant mehr Symptome einer Gehirnerschütterung im Gesamten (Maher et al., 2014).

Stojsih et al. untersuchten bei Amateurboxer:innen den Zusammenhang der Biomechanik von Schlägen mit kognitiven Einschränkungen. Wie bereits oben beschrieben, nutzten sie

für Ausmaß und Frequenz der Kopfanpralltraumata ein *Instrumented Boxing Headgear* und konnten keine Unterschiede zwischen Männern und Frauen feststellen. Bezüglich neurokognitiver Einschränkungen konnte mithilfe der ImPACT Testbatterie ebenfalls kein Unterschied zwischen den Geschlechtern festgestellt werden, alle Proband:innen zeigten jedoch eine signifikante Verschlechterung der verzögerten Gedächtnisleistung. Weitere Defizite der neurokognitiven Funktion konnten nicht festgestellt werden.

Bei einer Studie im schwedischen Elitefußball gaben Sportlerinnen beim *Sport Concussion Assessment Tool (SCAT3.3)* 48 Stunden und 3 Monate nach einer Gehirnerschütterung mehr und schlimmere Symptome an als Spieler. Frauen benötigten einen Median von 20 Tagen, um zum Vollkontakt zurückkehren zu können, bei Männern war es nur ein Median von 10 Tagen. Spieler:innen, die in der Vergangenheit bereits eine Gehirnerschütterung erlitten hatten, hatten an der Baseline eine höhere Anzahl an Symptome, sowie ein höheres Risiko eine weitere Gehirnerschütterung zu erleiden (Vedung et al., 2020).

Vier von fünf Studien zeigten bei Sportlerinnen höhere Defizite in der neurokognitiven Performance nach einer Gehirnerschütterung als bei Sportlern (Broshek et al., 2005; Covassin et al., 2013; Dougan et al., 2014; Maher et al., 2014). Sportlerinnen gaben in vier von fünf Studien eine höhere Anzahl sowie schlimmere Symptome an (Broshek et al., 2005; Covassin et al., 2013; Maher et al., 2014; Vedung et al., 2020). Bezüglich der benötigten Zeit zur Rückkehr zum Vollkontakt zeigt die Literatur gemischte Ergebnisse. Eine Studie, die sich nicht nur auf Gehirnerschütterungen als Verletzung fokussiert, beschreibt eine längere Zeit für Männer (Schick and Meeuwisse, 2003), zwei Studien beschreiben eine längere Zeit für Frauen (Lopez et al., 2016; Vedung et al., 2020).

Eine Studie zum neurokognitiven Outcome nach Gehirnerschütterungen bei American Football Spielerinnen existiert bislang nicht.

Nach Dick et al. konnte bereits nachgewiesen werden, dass Geschlechtsunterschiede in dem Outcome nach nicht-sportbezogenen Gehirnerschütterungen bestehen. Studien zeigten ein schlechteres Outcome für Frauen für 85% der gemessenen Variablen (hauptsächlich somatische Symptome), sowie eine um das 1,28-fach erhöhte Mortalitätsrate.

2 FRAGESTELLUNGEN

Gehirnerschütterungen sind ein gefürchtetes Risiko im American Football, genauso wie die durch repetitive Kopftraumata auslösbare CTE.

Die Literatur hat bei anderen Kontaktsportarten gezeigt, dass die Inzidenz von Gehirnerschütterungen bei Spielerinnen höher als bei Spielern ist. Hierbei zeigt sich jedoch, dass die Anzahl und Krafteinwirkung der Kopfanpralle bei Spielerinnen dabei geringer ist. Nach dem Erleiden einer Gehirnerschütterung berichten Spielerinnen von mehr und schwerwiegenderen Symptomen. Außerdem zeigen sie ein höheres Defizit in neurokognitiven Testungen.

Die Studien wurden bislang bei Fußball-, Eishockey- und Rugby-Spielerinnen, sowie Boxerinnen durchgeführt.

Eine Studie zu der Auswirkung von Gehirnerschütterungen bei Frauen im American Football konnte zum Zeitpunkt der Literaturrecherche nicht gefunden werden.

Bezogen auf Ergebnisse von Studien zu anderen Sportarten stellt sich die Frage, ob American Football Spielerinnen im Vergleich zu gesunden Personen einer Kontrollgruppe, sowie im Verlauf einer Spielsaison kognitive oder emotionale Veränderungen zeigen.

Insbesondere sollte auf folgende Punkte eingegangen werden:

- Zeigen sich kognitive Veränderungen bei American Football Spielerinnen im Vergleich zu gesunden Personen einer Kontrollgruppe?
- Zeigen sich emotionale Veränderungen bei American Football Spielerinnen im Vergleich zu gesunden Personen einer Kontrollgruppe?
- Zeigen sich kognitive Veränderungen bei American Football Spielerinnen vor und nach einer Saison?
- Zeigen sich emotionale Veränderungen bei American Football Spielerinnen vor und nach einer Saison?

3 PROBANDINNEN UND METHODEN

3.1 Probandinnenkollektiv

In dieser klinischen Kohortenstudie wurden 20 aktive American Football Spielerinnen, sowie 20 Kontrollprobandinnen eingeschlossen. Die erforderliche Zustimmung der Ethikkommission lag zu Beginn der Studie vor. Die Finanzierung der Studie erfolgte über Mittel des Lehrstuhls für Geriatrie der Universität Duisburg-Essen. Jede Probandin wurde von einem Arzt oder einer Ärztin schriftlich und mündlich über das Vorgehen aufgeklärt und willigte im Vorfeld ein.

3.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Für die Kohorten wurden folgende Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt:
Kohorte 1 – American Football Spielerinnen:

- Aktive American Football Spielerin mit Teilnahme an der Saison 2021
- Volljährigkeit
- Keine Schwangerschaft
- Keine neurologischen Vorerkrankungen

Kohorte 2 – Kontrollgruppe:

- Weibliches Geschlecht
- Kein aktives Ausüben von Kontaktsportarten (Fußball, Football, Rugby, Hockey, Boxen)
- Volljährigkeit
- Keine Schwangerschaft
- Keine neurologischen Vorerkrankungen

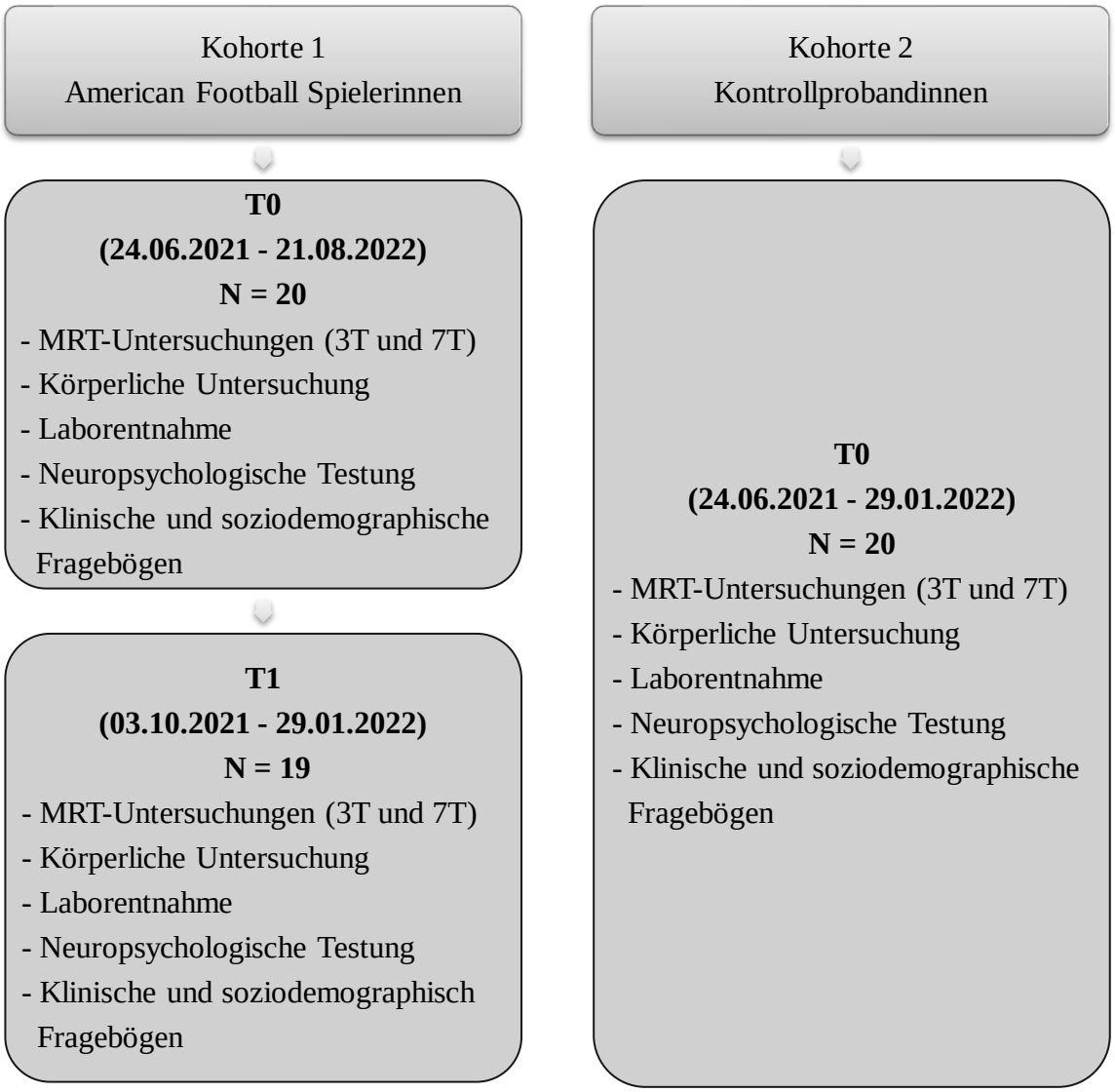
Die Kontrollpersonen wurden jeweils einer Spielerin mit einer Altersabweichung von maximal zwei Jahren zugeordnet.

3.2 Studienablauf

Die Datenerfassung erfolgte im Zeitraum vom 24.06.2021 bis zum 29.01.2022. Die American Football Saison fand vom 21.08.2021 bis zum 03.10.2021 statt. Die Spielerinnen wurden jeweils vor dem ersten und nach dem letzten Spiel getestet. Die

Kontrollprobandinnen wurden unabhängig von der Saison einmalig in dem genannten Zeitraum getestet.

Abbildung 1 *Studienablauf und verwendete Methoden*



T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung

3.3 Methoden

Die Testungen setzten sich sowohl an der Baseline (Spielerinnen und Kontrollprobandinnen) als auch bei der zweiten Testung (nur Spielerinnen) aus zwei MRT-Untersuchungen (3-Tesla und 7-Tesla), einer klinischen Untersuchung, einer neuropsychologischen Testung, einer Laboruntersuchung und dem Ausfüllen von Fragebögen zusammen.

3.3.1 MRT-Untersuchung

In der klinischen Anwendung sind vor allem MRT-Systeme mit einer Magnetfeldstärke von 1,5 oder 3T verbreitet. Ultrahochfeld-(UFH)-MRT-Systeme mit Magnetfeldstärken von 7 oder 9,4 Tesla werden häufig in der Forschung eingesetzt (Schlegel et al., 2018). In der Studie wurden Untersuchung mit einem 3T- und einem 7T-System durchgeführt. Die Ergebnisse der Bildgebung stehen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Arbeit noch aus und sind dementsprechend nicht Teil dieser Arbeit.

3.3.2 Anamnese und klinische Untersuchung

Anamnestisch erfasst wurden Vorerkrankungen, aktuelle Medikation, bekannte veränderte Laborwerte, sowie aktuelle Symptome (Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Haarausfall, ungewollte Gewichtszu- oder -abnahme, Konzentrationsschwierigkeiten). Die klinische Untersuchung der Probandinnen beinhaltete eine allgemeine körperliche Untersuchung mit Einschätzung des Allgemeinzustandes, der Vigilanz und der Orientierung, sowie Untersuchung von Herz, Lunge und Abdomen, und eine neurologische Untersuchung mit Prüfung der Sensibilität, der Kraftgrade und der Muskeleigenreflexe an oberer und unterer Extremität, der Pupillo- und Okulomotorik, des Hörsinns, sowie von Stand und Gang (Romberg-Stehversuch, Unterberger-Tretversuch).

3.3.3 Fragebögen und neuropsychologische Testung

Im Rahmen von Fragebögen, die von den Probandinnen selbst ausgefüllt werden mussten, wurden bezüglich Demographie und Lebensstil Geburtsjahr, Gewicht, Größe, Familienstand, Ethnie, Gesamtanzahl der Schuljahre, Schulabschluss, Jahre der beruflichen Ausbildung, Schlafgewohnheiten, Ernährung, Tabak- und Alkoholkonsum erfasst.

Von den Spielerinnen wurde zusätzlich ein Fragebogen zur sportlichen Karriere ausgefüllt. Dieser beinhaltete frühere oder parallel zum American Football ausgeführte Sportarten, Anzahl der aktiven Saisons, sowie der gespielten Spiele in der letzten Saison, gespielte Positionen und Ligen, Teilnahme an einem Football-Programm in den Staaten, Trainingszeit pro Woche und prozentuale Teilnahme am Training, sowie Fragen zu Helmmodellen, mit denen bereits gespielt wurde. Zusätzlich mussten Fragen zu Kopfverletzungen beantwortet werden (Anzahl der Gehirnerschütterungen in der letzten Saison und während der gesamten Karriere, weitere Teilnahme am Spielgeschehen trotz Kopfschmerzen nach Anpralltrauma). Abschließend wurden Fragen zur medizinischen Versorgung am Spieltag gestellt.

3.3.3.1 Klinische Fragebögen

3.3.3.1.1 Global Physical Activity Questionnaire

Der Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ) ist ein Tool zur Erfassung der physischen Aktivität und wurde 2002 von der World Health Organization im Rahmen der Überwachung von Risikofaktoren chronischer Krankheiten (STEPS) entwickelt (Armstrong and Bull, 2006).

Der Fragebogen beinhaltet Fragen zum Ausmaß der körperlichen Aktivität bei der Arbeit und in der Freizeit und unterscheidet hierbei zwischen intensiver Aktivität mit starker Zunahme von Atmung und Puls, und moderater Aktivität mit moderater Zunahme von Atmung und Puls. Gefragt wird jeweils, wie viele Tage in der Woche die Person aktiv ist und wie viele Minuten an Aktivität ein gewöhnlicher Tag beinhaltet. Zusätzlich wird erfasst, wie oft sich die Person zu Fuß oder mit dem Fahrrad von Ort zu Ort fortbewegt und wie viel Zeit pro Tag mit Sitzen oder Ruhen verbracht wird.

Für die Auswertungen wurden jeweils die intensiven und die moderaten Aktivitäten bei der Arbeit und in der Freizeit, sowie die zur Transportation gebrauchte Aktivität und die Ruhezeit in Minuten betrachtet (Armstrong and Bull, 2006).

3.3.3.1.2 European Quality of Life 5 Dimensions Questionnaire

Zur Erfassung des allgemeinen, krankheitsunabhängigen Gesundheitszustands wurde der European Quality of Life Questionnaire (EQ-5D-5L), der von der EurQol-Gruppe entwickelt wurde, verwendet. Der EQ-5D-5L beinhaltet Fragen zu fünf Dimensionen (5D: „Beweglichkeit/Mobilität“; „Für sich selbst Sorgen“; „Alltägliche Tätigkeiten“;

„Schmerzen/Körperliche Beschwerden“, „Angst/Niedergeschlagenheit) und erfasst diese in fünf Leveln (5L: „keine“; „leichte“; „mäßige“; „große“; „extreme Probleme/ Schmerzen/Angst“). Weiterhin beinhaltet der Fragebogen eine visuelle Analogskala, auf der die befragte Person ihren heutigen Gesundheitszustand auf einer Skala von 0 (schlechteste Gesundheit, die sie sich vorstellen können) bis 100 (beste Gesundheit, die sie sich vorstellen können) einschätzen soll.

Für die Auswertung des EQ-5D-5L werden die angegebenen Level der fünf Dimensionen als Ziffer dargestellt und ergeben als fünfstellige Zahlenkombination einen von 3125 (5^5) Gesundheitszuständen. Diese Zahlenkombination kann dann mit Hilfe eines spezifischen Algorithmus der EurQol-Gruppe, welcher die Level der Dimensionen und deren Interaktion untereinander beachtet, in einen Indexwert umgerechnet werden. Ein Indexwert von 1 entspricht dem bestmöglichen, ein Indexwert von 0 dem schlechtmöglichsten Gesundheitszustand (Group, 1990).

3.3.3.1.3 Charlson Komorbiditätsindex

Der Charlson Komorbiditätsindex (CCI) wurde 1987 von Mary Charlson zur Einstufung von Begleiterkrankungen in Bezug auf das Sterberisiko in Langzeitstudien beschrieben. Er beinhaltet 19 prognostisch relevante Erkrankungen, die mit unterschiedlicher Gewichtung (1-6 Punkte) zur Berechnung des Index beitragen. Je nach addiertem Punktewert ergeben sich dann 1-Jahres-Mortalitätsraten (Charlson et al., 1987).

3.3.3.1.4 Beck-Depressions-Inventar

Das 1961 von Aaron T. Beck beschriebene und nach diesem benannte Beck-Depressions-Inventar (BDI-II) ist ein Test zur Einschätzung des Schweregrades einer Depression. Der Fragebogen besteht aus 21 Items, die Symptome einer Depression erfassen und je vier Auswahlmöglichkeiten (0-3) beinhalten. Die ausfüllende Person muss angeben, welche der Aussagen für die letzten zwei Wochen am zutreffendsten auf sie ist. Zur Auswertung wird eine Summe aus allen angegebenen Antworten gebildet und kann anhand von Grenzwerten den Schweregrad der Depression zeigen: keine Depression (0 bis 8), minimale Depression (9 bis 13), leichte Depression (14 bis 19), mittelschwere Depression (20 bis 28) und schwere Depression (29 bis 63). Die deutsche Version wurde von Hautzinger, Keller und Kühner entwickelt und ist an die Diagnosekriterien des DSM-IV angepasst (Hautzinger et al., 2006).

3.3.3.1.5 Apathy Evaluation Scale

Die Apathy Evaluation Scale (AES) wird zur syndromunabhängigen Erfassung der Apathie benutzt und besteht aus 18 Items, die verschiedene Aspekte des Verhaltens des/der Probandensin abfragen und im Rahmen einer 4-Punkt-Likert-Skala (1: trifft gar nicht zu, 2: trifft etwas zu, 3: trifft ziemlich zu, 4: trifft sehr zu) erfasst werden. Bei der Auswertung werden die Items so kodiert, dass ein höheres Ergebnis einer höheren Apathie entspricht. Es können zwischen 18 und 72 Punkten erreicht werden. Eine Punktzahl über 38 zeigt eine klinisch relevante Apathie an (Lueken et al., 2006).

In unserer Studie wurde die AES in deutscher Übersetzung als Fremdinterview durchgeführt.

3.3.3.2 Neuropsychologische Testung

Die neuropsychologische Testbatterie bestand aus neun standardisierten Testverfahren und wurde von einem Psychologen durchgeführt.

3.3.3.2.1 Verbaler Lern- und Merkfähigkeitstest

Der verbale Lern- und Merkfähigkeitstest (VLMT) ist ein standardisierter Test zur Untersuchung des verbalen Gedächtnisses. Der Test beinhaltet zwei Wortlisten, die je 15 Wörter beinhalten. Zu Beginn wird Liste A fünfmal hintereinander laut vorgelesen, nach jedem Durchgang wird der/die Proband:in gebeten, so viele Wörter wie möglich zu wiederholen. Anschließend wird Liste B einmal vorgelesen, danach soll der/die Proband:in erneut die erinnerten Wörter wiederholen. Nach dem Wiederholen von Liste B soll der/die Proband:in noch einmal Wörter aus Liste A wiederholen, ohne, dass diese erneut vorgelesen wird. Der Test wird ohne das Wissen der getesteten Person für etwa 20-30 Minuten durch andere Tests unterbrochen. Nach dieser Zeit soll der/die Proband:in erneut Wörter aus Liste A wiederholen. Anschließend wird eine dritte Liste mit 50 Wörtern vorgelesen, die aus den Wörtern von Liste A und Liste B besteht, sowie 20 neue, semantisch ähnliche Wörter enthält. Der/die Proband:in muss nun bei jedem Wort angeben, ob es Bestandteil von Liste A war. Der VLMT testet also sowohl die Wortwiederholung, als auch die Wortwiedererkennung.

Bei der Auswertung werden die Summe der in den Durchgängen 1 bis 5 richtig wiedergegebenen Items (Angabe der Lernleistung), die Summe der richtig genannten Worte im 7. Durchgang (nach 20-30 Minuten) (verzögerte Erinnerung), die Differenz der

Summe richtiger Items im freien Abruf (nach 20-30 Minuten) und der Summe richtiger Items im fünften Lerndurchgang (Verlust der Lernleistung nach zeitlicher Verzögerung) und die Summe der richtig erkannten Worte korrigiert mit den Fehlern (verzögerte Wiedererkennung) betrachtet und nach Altersklasse in Prozentränge eingeteilt (Helmstaedter and Durwen, 1990).

3.3.3.2.2 Rey-Osterrieth Complex Figure Test

Der Rey-Osterrieth Complex Figure Test (RCFT) wurde 1941 von André Rey beschrieben und 1944 von Paul Osterrieth weiterentwickelt und testet räumlich-visuelle Fähigkeiten und das visuelle Gedächtnis. Der RCFT beinhaltet eine komplexe, nicht einfach zu beschreibende Figur, die nach einer Vorlage abgezeichnet werden soll. Nach drei Minuten soll der/die Proband:in die Figur erneut, diesmal ohne die Vorlage, zeichnen. Die Figur beinhaltet 18 Elemente, die Testauswertung erfolgt nach Platzierung und Genauigkeit der einzelnen Elemente und reicht von 0 (Teil fehlt/nicht zu erkennen) bis 2 Punkten (Teil korrekt gezeichnet, Anordnung richtig) und wird über einen nach Altersgruppe berechneten z-Wert (z=(x-M)/SD) angegeben. (Osterrieth, 1944; Rey, 1941).

3.3.3.2.3 Trail Making Test A und B

Der Trail Making Test (TMT) besteht aus zwei Teilen. In Part A müssen die Zahlen 1-25 in aufsteigender Reihenfolge verbunden werden. In Part B müssen alternierend Zahlen und Buchstaben 1A - L13 verbunden werden. Den Testungen geht jeweils ein Übungsdurchgang mit weniger Zahlen und Buchstaben voraus. Ausschlaggebend ist beim TMT die benötigte Zeit. Bei Fehlern wird der/die Proband:in auf diese hingewiesen, die Zeit wird jedoch nicht gestoppt (Reitan, 1958).

Für den TMT A gilt eine durchschnittliche Dauer von 27-39 Sekunden als normal, eine Dauer ab 52 Sekunden wird als mangelhaft angesehen. Beim TMT B liegen die Grenzwerte bei 66-85 und 121 Sekunden. Die Auswertung erfolgt anhand von Perzentilen nach Altersgruppe (Tischler, 2010).

3.3.3.2.4 Zahlen nachsprechen

Zahlen nachsprechen (Digit Span, DS) ist ein Untertest des Hamburg-Wechsler-Intelligenztests (Wechsler Adult Intelligence Scale Fourth Edition (WAIS-IV)) aus der Aufgabengruppe Arbeitsgedächtnis.

Bei dieser Aufgabe werden Zahlenreihen vorgelesen, die dann von dem/der Proband:in wiederholt werden müssen. Zu Anfang besteht die Reihe nur aus zwei Zahlen, wird jedoch bei Erfolg durch jeweils eine weitere Zahl ergänzt. Kann die Reihe nicht mehr korrekt wiederholt werden, wird der Versuch abgebrochen.
Im zweiten Durchgang werden die Zahlenreihen gleich vorgetragen, müssen von dem/der Proband:in jedoch rückwärts, also in umgekehrter Reihenfolge, wiederholt werden. Erfasst wird die Anzahl an Zahlen, die der/die Proband:in im letzten korrekt durchgeführten Versuch wiederholt hat. Je höher die Anzahl ist, desto besser war die Testleistung. Die Auswertung erfolgt anhand von Perzentilen nach Altersgruppe. (Petermann and Wechsler, 2012).

3.3.3.2.5 Regensburger Wortflüssigkeitstest

Der Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT) ist ein Verfahren zur Messung der verbalen Wortflüssigkeit und besteht aus mehreren Untertests zu formallexikalischer und semantischer Wortflüssigkeit. Aufgabe ist es jeweils, nach bestimmten Regeln in einer bestimmten Zeit so viele Wörter wie möglich zu nennen. Erfasst wird die Anzahl an Wörtern, die der/die Proband:in korrekt genannt hat. Je höher die Anzahl ist, desto besser war die Testleistung. (Aschenbrenner et al., 2000).
Bei der vorliegenden Studie mussten Kontrollprobandinnen und Spielerinnen bei der ersten Testung zur Erfassung der formallexikalischen Wortflüssigkeit Wörter mit dem Anfangsbuchstaben S nennen. Bei der Nachkontrolle der Spielerinnen mussten Wörter mit P genannt werden.
Zu Erfassung der semantischen Wortflüssigkeit wurden Kontrollprobandinnen und Spielerinnen bei der ersten Testung gebeten, so viele Tiere wie möglich zu nennen. Bei der Nachtestung sollten Lebensmittel genannt werden. Die zeitliche Vorgabe für jeden der Untertests war jeweils eine Minute. Die Auswertung erfolgt anhand von Perzentilen nach Altersgruppe.

3.3.3.2.6 Syndrom-Kurz-Test

Der Syndrom-Kurz-Test (SKT) nach Erzigkeit kann zur Testung des Gedächtnisses und der Aufmerksamkeit genutzt werden und besteht aus insgesamt neun Subtests. Dem/der Proband:in werden zunächst Bilder von Gegenständen gezeigt, die benannt werden

müssen. Direkt danach müssen die Gegenstände aus dem Gedächtnis reproduziert werden und werden anschließend nochmals gezeigt.
Im nächsten Subtest werden Zahlen in nicht geordneter Reihenfolge gezeigt, die vorgelesen werden müssen. Danach müssen diese von dem/der Proband:in in aufsteigender Reihenfolge sortiert und anschließend wieder auf ihre Ausgangsposition zurückgelegt werden.
Danach müssen Symbole gezählt werden und in einem Interferenztest Buchstabenfolgen vorgelesen werden.
Bei diesen Tests wird jeweils die benötigte Zeit gemessen.
Im Anschluss müssen erneut die am Anfang gezeigten Gegenstände reproduziert und dann unter weiteren Bildern von Gegenständen wiedererkannt werden. Hierbei wird die Anzahl der fehlenden Gegenstände erfasst.
Pro Subtest werden nach benötigter Zeit oder Anzahl der erfassten Gegenstände 0-3 Punkte vergeben. Eine höhere Punktzahl geht mit einer schlechteren kognitiven Leistung einher, ein Ergebnis von über 4 wird als auffällig angesehen. (Stemmler et al., 2017).
Es existieren insgesamt neun Parallelformen des SKT, in dieser Studie wurde für die Baseline-Testung Form B und für die Nachkontrolle der Spielerinnen Form E benutzt.

3.3.3.2.7 Farbe-Wort-Interferenz-Test

Der Farbe-Wort-Interferenz-Test (Stroop Test) nach Bäumler ist ein Wortlese- und Farbenbenennungstest. Der Test beinhaltet drei Testtafeln mit je 72 Items, die in drei Spalten aufgeführt werden. Auf der ersten Tafel müssen schwarz gedrückte Farbwörter vorgelesen werden. Auf der zweiten Tafel müssen die Farben von Farbbalken benannt werden. Auf der dritten Tafel muss die Farbe von inkongruent farbig gedruckten Farbwörtern benannt werden. Die Items müssen so schnell und so korrekt wie möglich benannt werden (Bäumler, 1985).
In dieser Studie wurde bei der Baseline-Testung Tafel A und bei der Nachkontrolle der Spielerinnen Tafel B benutzt. Die Auswertung erfolgt anhand von auf gestaffelten T-Werten nach Altersklassen.

3.3.4 Laboruntersuchung

Für die Bestimmung von Biomarkern wurde allen Probandinnen ca. 30ml Vollblut in zwei Serum- und zwei Plasma-Monovetten, die im Vorhinein mit der Probandinnen-ID

beschriftet wurden, entnommen. Untersucht wurden die Biomarker Tau-Protein 231 (pT231), Gesamt-Tau, Beta-Amyloid 40 (Aβ40) und 42 (Aβ42), Glial fibrillary acidic protein (GFAP) und Neurofilament-light-Polypeptide (NfL) in Pikogramm pro Milliliter und S100 kalziumbindenes Protein B (S100B) in Mikrogramm pro Liter. Die Auswahl der zu untersuchenden Biomarker wurde in Zusammenarbeit mit dem Labor von Prof. Dr. Kaj Blennow (Clinical Neurochemistry Laboratory, Institute of Neuroscience and Physiology, the Sahlgrenska Academy at Gothenburg University, Mölndal, Sweden.) durchgeführt. Die Analysen wurden in diesem Labor durchgeführt (Shahim et al., 2020). Die Ergebnisse der Laboruntersuchung stehen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Arbeit noch aus und sind dementsprechend nicht Teil dieser Arbeit.

3.4 Statistik

Für die statistische Auswertung wurden die Programme IBM SPSS Statistics (Version 29, NY, USA) und Microsoft Excel 2021 (Seattle, WA, USA) verwendet. Die Lizenz wurde jeweils von der Universität Duisburg-Essen zur Verfügung gestellt. Es wurde sowohl eine Querschnittsanalyse zwischen Spielerinnen und Kontrollpersonen bei T0 (nicht verbundene, unabhängige Stichproben), sowie eine longitudinale Analyse der Spielerinnen zwischen T0 und T1 (verbundene, abhängige Stichprobe) durchgeführt. Für nominale Daten wurden Häufigkeiten angegeben, die Überprüfung auf Gruppenunterschiede wurde mittels Kreuztabelle und Chi-Quadrat Test durchgeführt. Deskriptive Analysen für metrische Daten beinhalten Angaben von Mittelwert mit Standardabweichung. Die Daten wurden mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Gruppenunterschiede wurden bei normalverteilten Daten mit dem *t*-Test, bei nicht-normalverteilten Daten mit dem Mann-Whitney-U-Test berechnet. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0{,}05$ festgelegt.

4 ERGEBNISSE

In die Studie eingeschlossen wurden 20 American Football Spielerinnen und 20 Kontrollprobandinnen. Die Testungen wurden im Zeitraum vom 24.06.2021 bis zum 29.01.2022 durchgeführt. Die Kontrollprobandinnen wurden einmalig in diesem Zeitraum getestet, die Spielerinnen je einmal vor und einmal nach der Saison. Eine Spielerin konnte für die Nachuntersuchung nicht mehr erreicht werden („lost to follow up“).

4.1 Soziodemographische Daten

Die Spielerinnen waren im Durchschnitt 25,6 Jahre alt mit einer Standardabweichung von 4,7 Jahren. Die jüngste Spielerin war 19, die älteste 38 Jahre alt. Sie waren im Durchschnitt 171cm groß (± 7,9) und wogen 84,8kg (± 18,9). Dem Body Mass Index (BMI) nach hatten 7 Spielerinnen (35%) Normalgewicht, 4 (20%) Übergewicht, 5 (25%) Adipositas Grad I und 4 (20%) Adipositas Grad 2. Der durchschnittliche BMI lag bei 28,95kg/m² mit einer Standardabweichung von 6. Die Spielerinnen hatten eine mittlere Bildungszeit (Schule plus Ausbildung/Studium) von 17,3 Jahren (± 3,1). Auf einer Skala von 0 bis 100 gaben die Spielerinnen an, dass ihnen eine gesunde, sportbezogene Ernährung zu 74,3 Punkten (± 24,7) wichtig sei. 11 Spielerinnen (55%) nahmen Nahrungsergänzungsmittel, 17 (85%) schätzten ihre aktuelle körperliche Fitness als „gut“ ein. In der Kontrollgruppe waren die Probandinnen im Durchschnitt 25,1 Jahre alt mit einer Standardabweichung von 4,2 Jahren. Die jüngste Kontrollprobandin war 19, die älteste 38 Jahre alt. Sie waren im Durchschnitt 170,5cm groß (± 7,9) und wogen 67,5kg (±12,6). Dem BMI nach hatten 16 Kontrollprobandinnen (80%) Normalgewicht, 3 (15%) Übergewicht und eine (5%) Adipositas Grad I. Der durchschnittliche BMI lag bei 23,11kg/m² mit einer Standardabweichung von 3,2. Die Kontrollprobandinnen hatten eine mittlere Bildungszeit (Schule plus Ausbildung/Studium) von 16,7 Jahren (± 2,2). Auf einer Skala von 0 bis 100 gaben die Kontrollprobandinnen an, dass ihnen eine gesunde, sportbezogene Ernährung zu 73,5 Punkten (± 19,6) wichtig sei. 4 Kontrollprobandinnen (20%) nahmen Nahrungsergänzungsmittel, 13 (65%) schätzten ihre aktuelle körperliche Fitness als „gut“ ein.

Bezüglich des Gewichts (p = 0,02) und des BMIs (p = 0,002) zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen, die Spielerinnen hatten ein höheres Körpergewicht und einen höheren BMI. Signifikant mehr Spielerinnen nahmen Nahrungsergänzungsmittel zu sich.

Tabelle 2 *Beschreibung der Studienkohorten – soziodemographische Daten*

	Spielerinnen N = 20	Kontroll-probandinnen N = 20	*p* - Wert
Alter (in Jahren) [1]	25,6 ± 4,7	25,1 ± 4,23	0,733 [4]
Größe (in cm) [1]	171,1 ± 7,9	170,5 ± 8,0	0,813 [3]
Gewicht (in kg) [1]	84,8 ± 18,9	67,5 ± 12,6	**0,02** [4]
BMI (in kg/m²) [1]	28,95 ± 6,01	23,11 ± 3,24	**0,002** [4]
BMI-Klasse [2]			
Untergewicht <18,5	0	0	
Normalgewicht 18,5 - 24,9	7 (35%)	16 (80%)	
Übergewicht 25 - 29,9	4 (20%)	3 (15%)	0,016 [5]
Adipositas Grad I 30 - 34,9	5 (25%)	1 (5%)	
Adipositas Grad II 35 - 39,9	4 (20%)	0	
Adipositas Grad III >40	0	0	
Bildungsjahre (Schule plus Ausbildung/Studium) [1]	17,3 ± 3,1	16,7 ± 2,2	0,521 [3]
Sportbezogene Ernährung [1]	74,3 ± 24,7	73,5 ± 19,6	0,672 [4]
Nahrungsergänzungsmittel [2]			
ja	11 (55%)	4 (20%)	**0,022** [5]
nein	9 (45%)	16 (80%)	
Körperliche Fitness [2]			
sehr schlecht	0	0	
schlecht	2 (10%)	3 (15%)	0,282 [5]
gut	17 (85%)	13 (65%)	
sehr gut	1 (5%)	4 (20%)	

[1] Mittelwert ± Standardabweichung [2] Häufigkeit (prozentual) [3] t-Test [4] Mann-Whitney-U-Test [5] Chi-Quadrat; BMI = Body-Mass-Index; fettgedruckte Zahlen = Signifikanzniveau erreicht

4.2 Spielerinnen – Positionen und Spielerfahrung

In die Studie eingeschlossen wurden 20 Spielerinnen aus drei unterschiedlichen Vereinen. Sechs Spielerinnen sind beim 1. AFC Wuppertal Greyhounds e.V., sieben beim AFC Bochum Miners e.V. und sieben bei den Solingen Paladins gemeldet. Die meisten Spielerinnen trainieren für unterschiedliche Positionen, insgesamt gab es drei Quaterbacks (QB), acht Runningbacks (RB), sieben Wide Receiver (WR), vier Tight Ends (TE), vier Offensive Liner (OL), fünf Defensive Backs (DB), vier Linebacker (LB) und sieben Defensive Liner (DL) (42 Positionsangaben). Im Durchschnitt trainieren die Spielerinnen für 2,1 Positionen (±0,9), nur ein Viertel der Spielerinnen hat nur eine Position. Die Spielerinnen spielten im Durchschnitt seit 3,7 Jahren American Football (±3,2), drei Spielerinnen hatten vorher keine Spielerfahrung (sogenannte „Rookies“). In der vorangegangenen Season erlitten die Spielerinnen im Durchschnitt 0,47 Concussions (±0,77), das Maximum betrug drei Concussions. Während der gesamten Karriere erlitten die Spielerinnen 1,15 Concussions (±1,461), das Maximum betrug 5 Concussions. Die Spielerinnen gaben an, nach einem harten Hit gegen den Helm mit anschließenden Kopfschmerzen im Durchschnitt zu 57,4% (±38,2) weiter am Spielgeschehen teilgenommen zu haben.

Tabelle 3 *Übersicht über Positionen und Erfahrung der Spielerinnen, sowie erlittene Gehirnerschütterungen*

ID	Verein	Seasons[1]	Positionen	Anzahl Concussions letzte Season	Anzahl Concussions insgesamt	Weitere Teilnahme am Spiel nach hartem Hit gegen den Kopf [2]
2	Bochum	1	WR, RB	0	0	0
4	Wuppertal	3	QB, DB, WR	0	0	100
5	Wuppertal	4	TE, LB	1	1	60
6	Wuppertal	5	LB, TE, RB	0	0	10
7	Solingen	3	LB, RB	1	1	100
11	Solingen	6	OL	kA	2	25
12	Solingen	4	QB, WR	0	2	70
13	Wuppertal	2	OL, DL	0	0	0
14	Solingen	1	DB	3	4	60
15	Bochum	9	QB, RB, WR	0	1	60
16	Wuppertal	3	RB, WR	1	1	15
17	Solingen	2	DL	0	0	100
18	Bochum	4	DL	0	0	80
24	Bochum	13	RB, WR, DB, LB	1	5	100
25	Solingen	3	TE, RB, DB, DL	1	1	45
26	Bochum	0	WR	0	0	0
28	Wuppertal	4	RB, DL	1	2	100
29	Solingen	0	TE, DB	0	0	75
30	Bochum	7	OL, DL	0	3	90
31	Bochum	0	OL, DL	0	0	kA
Wuppertal 6 Solingen 7 Bochum 7		3,7 ± 3,2[3]	QB 3, RB 8, WR 7, TE 4, OL 4, DB 5, LB 4, DL 7	0,5 ± 0,8[3]	1,2 ± 1,5[3]	57,4 ± 38,2[3]

[1] in Jahren, [2] Prozentual [3] Mittelwert ± Standardabweichung; QB: Quaterback;, RB: Runningback/Fullback; WR: Wide Receiver; TE: Tight End; OL: Offensive Line; DB: Defense Back, Safety, Cornerback; LB: Linebacker; DL: Defensive Line; kA: keine Angabe

Es zeigte sich eine positive Korrelation zwischen der Anzahl der gespielten Seasons und der Anzahl an Concussions über die gesamte Karriere (Pearson 0,615, p = 0,004), sowie zwischen der Anzahl an Concussions über die gesamte Karriere und innerhalb der letzten Season (Pearson 0,632, p = 0,004).
Zwischen den Positionen und der Anzahl an Concussions, sowie der Bereitschaft zum Weiterspielen nach einem harten Hit konnte keine signifikante Korrelation festgestellt werden.

4.3 Charlson - Komorbiditätsindex

Eine der Spielerinnen hat beim CCI einen Gesamtwert von 1. Die übrigen Spielerinnen und Kontrollen haben einen Gesamtwert von 0. Der Gruppenunterschied ist nicht statistisch signifikant.

4.4 Global Physical Activity Questionnaire

Beim GPAQ zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen Spielerinnen und Kontrollprobandinnen bezüglich der pro Woche verbrachten Zeit an moderater und intensiver Aktivität. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied für die im Sitzen und Ruhen und die zur Fortbewegung von Ort zu Ort mit dem Fahrrad oder zu Fuß verbrachten Zeit festgestellt werden.

Tabelle 4 *Ergebnisse Global Physical Activity Questionnaire für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen*

GPAQ	Spielerinnen N = 19	Kontrollprobandinnen N = 19	*p*-Wert
Sitzen [1]	420 ± 194,7	420 ± 167,3	1 [2]
Moderat [1]	584,5 ± 457,5	437,6 ± 611	**0,032** [3]
Intensiv [1]	1016,6 ± 1406,8	115,3 ± 163	**<0,001** [3]
Fahrrad/Laufen [1]	148,4 ± 251,9	145,8 ± 140,1	0,221 [3]

[1] Mittelwert ± Standardabweichung [2] t-Test [3] Mann-Whitney-U-Test; GPAQ = Global Physical Activity Questionnaire Sitzen = Zeit in Minuten, die pro Woche mit Sitzen und Ruhen verbracht wird; Moderat = Zeit in Minuten, die pro Woche in der Freizeit und auf der Arbeit mit moderater Aktivität verbracht wird; Intensiv = Zeit in Minuten, die pro Woche in der Freizeit und auf der Arbeit mit intensiver Aktivität verbracht wird; Fahrrad/Laufen = Zeit in Minuten, die pro Woche genutzt wird, um zu Fuß oder mit dem Fahrrad von Ort zu Ort zu kommen; fettgedruckte Zahlen = Signifikanzniveau erreicht

4.5 Neuropsychologische Testungen – kognitive Veränderungen

Im Querschnittsvergleich bei T0 konnte bei den neuropsychologischen Testungen bezüglich der kognitiven Veränderungen ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Spielerinnen und Kontrollprobandinnen im VLMT festgestellt werden. Die Spielerinnen zeigten eine schlechtere Lernleistung und eine schlechtere verzögerte Erinnerung, sowie einen höheren Verlust nach zeitlicher Verzögerung. In allen anderen Testungen konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Tabelle 5 *Ergebnisse Querschnittsvergleich Spielerinnen und Kontrollprobandinnen neuropsychologische Testungen – kognitive Veränderungen*

T0	Spielerinnen N = 20	Kontrollprobandinnen N = 20	*p*-Wert
RCFT - Copy [1 4]	0,92 ± 0,52	0,93 ± 0,45	0,968 [2]
RCFT - Recall [1 4]	0,6 ± 0,87	0,47 ± 0,9	0,64 [2]
TMT A [1 5]	65 ± 21,89	61 ± 24,67	0,678 [3]
TMT B [1 5]	65,5 ± 23,5	64 ± 23,71	0,64 [3]
DS – Vorwärts [1 5]	44,2 ± 30,88	46,7 ± 32,7	0,86 [3]
DS – Rückwärts [1 5]	59,15 ± 28,82	54,1 ± 26,37	0,698 [3]
RWT – Phonetisch [1 5]	62,4 ± 26,75	52 ± 21,01	0,18 [2]
RWT – Semantisch [1 5]	59,55 ± 21,74	53,05 ± 23,77	0,372 [2]
SKT – Gesamt [1 6]	1,1 ± 1,29	1,15 ± 1,04	0,718 [3]
SKT – Gedächtnis [1 6]	0,2 ± 0,7	0,2 ± 0,52	0,82 [3]
SKT – Aufm. [1 6]	0,9 ± 1,02	0,95 ± 1,05	0,897 [3]
Stroop – FWL [1 7]	48,55 ± 5,17	51,2 ± 6,14	0,147[2]
Stroop – FSB [1 7]	54,35 ± 8,74	55,95 ± 6,13	0,422[3]
Stroop – INT [1 7]	56,7 ± 6,59	56 ± 5,4	0,715[2]
VLMT Dg1to5 [1 8]	58 ± 7,89	62,25 ± 4,89	**0,047[2]**
VLMT Dg7 [1 8]	12,05 ± 2,48	13,75 ± 1,52	**0,021[3]**
VLMT Dg5m7 [1 8]	1,6 ± 1,5	0,5 ± 1,43	**0,023[3]**
VLMT W-F [1 8]	14,1 ± 1,33	14,55 ± 0,95	0,314[3]

[1] Mittelwert ± Standardabweichung [2] t-Test [3] Mann-Whitney-U-Test [4] z-Wert [5] Perzentile [6] Punkte nach Normwerten [7] T-Wert [8] Rohwert; RCFT = Rey-Osterrieth-Complex-Figure-Test; TMT = Trail Making Test; DS = Digit Span (Zahlen nachsprechen); RWT = Regensburger Wortflüssigkeitstest; SKT = Syndrom-Kurz-Test; Aufm.= Aufmerksamkeit; FWL = Farbwortlesen; FSB = Farbstrichbenennen; INT = Interferenzversuch; T0 = Baseline Testung; fettgedruckte Zahlen = Signifikanzniveau erreicht

Im longitudinalen Vergleich der Spielerinnen konnte ein signifikanter Unterschied beim Trail Making Test A (Verbesserung) und beim phonetischen Untertest des Regensburger Wortflüssigkeitstests (Verschlechterung) festgestellt werden. Für alle anderen Tests konnte kein signifikanter Unterschied für die Zeitpunkte T0 und T1 ermittelt werden.

Tabelle 6 *Ergebnisse longitudinaler Verlauf Spielerinnen neuropsychologische Testungen – kognitive Veränderungen*

T0 / T1	Spielerinnen T0 N = 19	Spielerinnen T1 N = 19	*p*-Wert
RCFT - Copy [1 4]	0,94 ± 0,54	0,68 ± 0,74	0,393 [2]
RCFT - Recall [1 4]	0,66 ± 0,74	0,9 ± 0,52	0,273 [2]
TMT A [1 5]	65 ± 21,89	80 ± 12,55	**0,011** [2]
TMT B [1 5]	64,21 ± 23,41	75,26 ± 24,8	0,125 [2]
DS – Vorwärts [1 5]	41,42 ± 29	46,47 ± 28,82	0,492 [2]
DS – Rückwärts [1 5]	58,42 ± 29,42	51,26 ± 31,24	0,21 [2]
RWT – Phonetisch [1 5]	61,47 ± 27,15	48,05 ± 33,98	**0,003** [2]
RWT – Semantisch [1 5]	59,26 ± 22,29	66,74 ± 23,2	0,147 [2]
SKT – Gesamt [1 6]	1,11 ± 1,33	0,89 ± 0,88	0,52 [2]
SKT – Gedächtnis [1 6]	0,21 ± 0,71	0,21 ± 0,42	1 [2]
SKT – Aufm. [1 6]	0,89 ± 1,05	0,68 ± 0,19	0,36 [2]
Stroop – FWL [1 7]	49,17 ± 4,48	50,44 ± 3,99	0,146 [2]
Stroop – FSB [1 7]	54 ± 8,84	55,11 ± 8,08	0,388 [2]
Stroop – INT [1 7]	56,33 ± 6,64	57,5 ± 7,17	0,27 [2]
VLMT Dg1to5 [1 8]	57,89 ± 8,09	59,58 ± 7,83	0,215[2]
VLMT Dg7 [1 8]	11,89 ± 2,45	12,58 ± 2,57	0,263[2]
VLMT Dg5m7 [1 8]	1,68 ± 1,49	1,16 ± 1,68	0,235[2]
VLMT W-F [1 8]	14,05 ± 1,35	14,05 ± 1,75	1[2]

[1] Mittelwert ± Standardabweichung [2] t-Test [3] Mann-Whitney-U-Test [4] z-Wert [5] Perzentile [6] Punkte nach Normwerten [7] T-Wert [8] Rohwert; RCFT = Rey-Osterrieth-Complex-Figure-Test; TMT = Trail Making Test; DS = Digit Span (Zahlen nachsprechen); RWT = Regensburger Wortflüssigkeitstest; SKT = Syndrom-Kurz-Test; Aufm.= Aufmerksamkeit; FWL = Farbwortlesen; FSB = Farbstrichbenennen; INT = Interferenzversuch; T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung; fettgedruckte Zahlen = Signifikanzniveau erreicht

4.6 Neuropsychologische Testungen – emotionale Veränderungen

4.6.1 Beck-Depressions-Inventar II

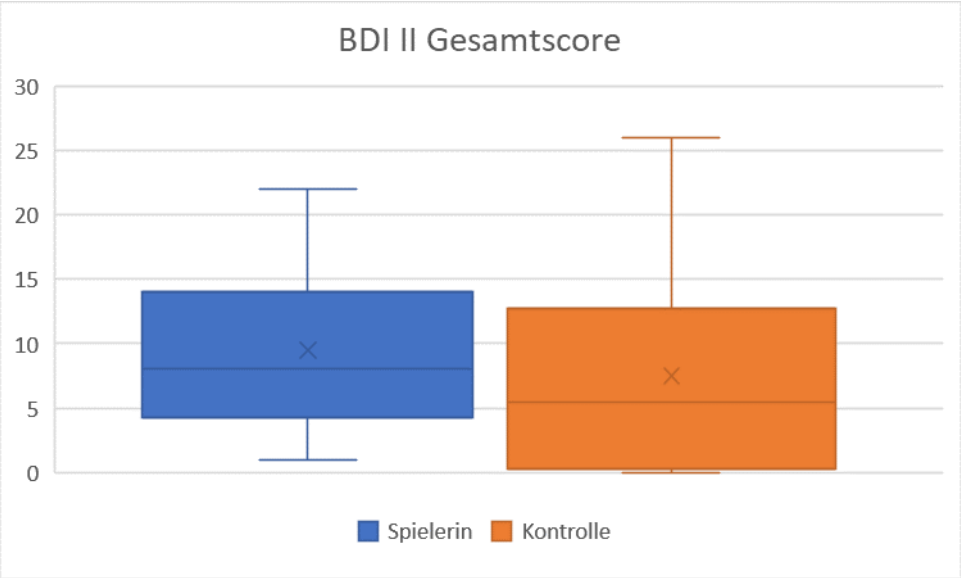
Beim BDI II zeigte sich im Gesamtscore kein signifikanter Unterschied zwischen Spielerinnen und Kontrollprobandinnen. Die Ergebnisse sind als Box Plot in Abbildung 2 veranschaulicht.

Tabelle 7 *Ergebnisse Beck-Depressions-Inventar zum Zeitpunkt T0 für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen*

BDI II Gesamtscore – T0	Spielerinnen N = 20	Kontrollprobandinnen N = 20	*p*-Wert
Gesamtscore [1]	9,5 ± 6,41	7,5 ± 7,94	0,166 [2]

[1] Mittelwert ± Standardabweichung [2] Mann-Whitney-U-Test; BDI II = Beck-Depressions-Inventar Revision; T0 = Baseline Testung

Abbildung 2 *Ergebnisse Beck-Depressions-Inventar Qerschnittsvergleich Spielerinnen und Kontrollprobandinnen*

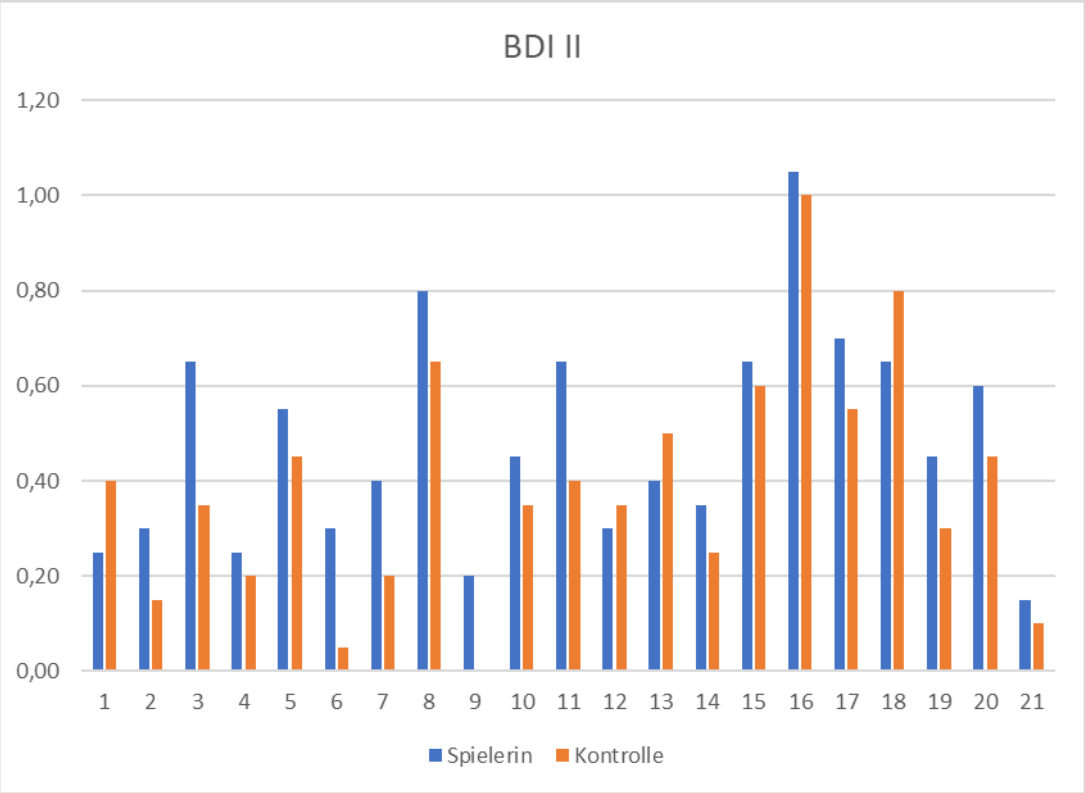


BDI II = Beck-Depressions-Inventar Revision

Jedes Item wurde zusätzlich in Kreuztabellen einzeln betrachtet, hier zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Frage zu Selbstmordgedanken (p = 0,035). Alle 20 Kontrollprobandinnen und 16 Spielerinnen gaben an, dass sie nicht daran

denken, sich etwas anzutun. Keine der Kontrollprobandinnen, aber vier der Spielerinnen gaben an, dass sie manchmal an Selbstmord denken, es jedoch nicht tun würden (Abbildung 3, Item 9).

Abbildung 3 *Ergebnisse Beck Depressions Inventar – Mittelwerte der einzelnen Items der Spielerinnen und der Kontrollprobandinnen zum Zeitpunkt T0 (Baseline) im Vergleich*



1 Traurigkeit; 2 Pessimismus; 3 Versagensgefühle; 4 Verlust von Freude; 5 Schuldgefühle; 6 Bestrafungsgefühle; 7 Selbstablehnung; 8 Selbstvorwürfe; 9 Selbstmordgedanken; 10 Weinen; 11 Unruhe; 12 Interessensverlust; 13 Entschlussunfähigkeit; 14 Wertlosigkeit; 15 Energieverlust; 16 Veränderung der Schlafgewohnheiten; 17 Reizbarkeit; 18 Veränderung des Appetits; 19 Konzentrationsschwierigkeiten; 20 Ermüdung oder Erschöpfung; 21 Verlust an sexuellem Interesse; BDI II = Beck-Depressions-Inventar Revision

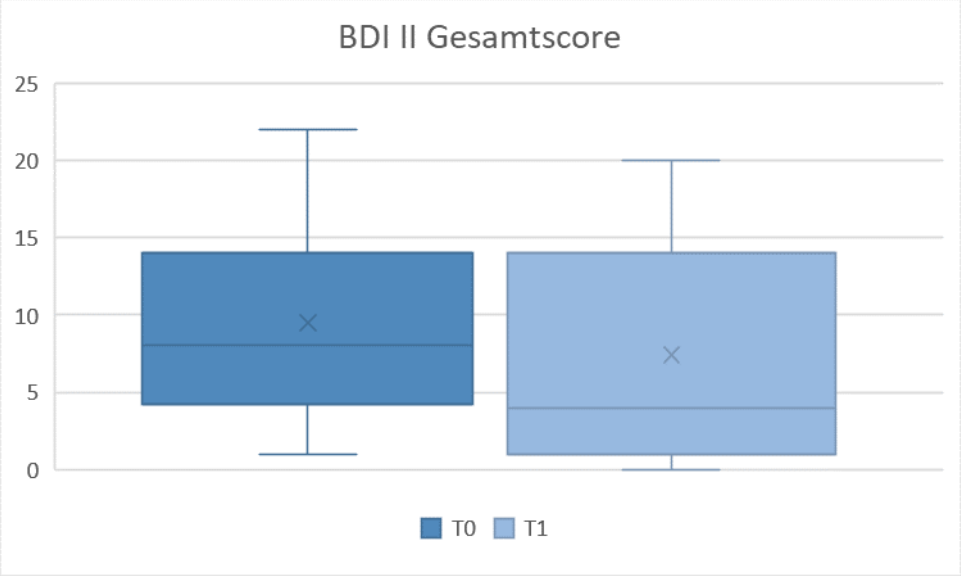
Im longitudinalen Vergleich konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich des Gesamtscores des BDI II festgestellt werden. Die Ergebnisse sind als Box Plot in Abbildung 4 veranschaulicht.

Tabelle 8 *Ergebnisse Beck-Depressions-Inventar im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen*

BDI II Gesamtscore – T0 / T1	Spielerinnen T0 N = 19	Spielerinnen T1 N = 19	*p*-Wert
Gesamtscore [1]	9,58 ± 6,58	7,42 ± 7,23	0,203 [2]

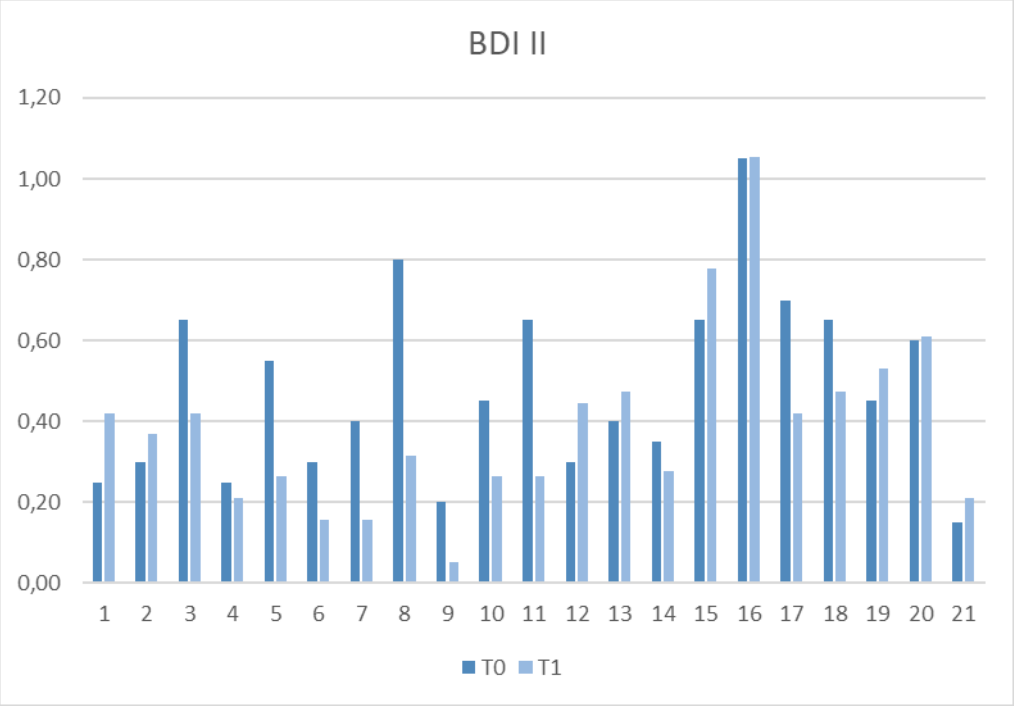
[1] Mittelwert ± Standardabweichung [2] t-Test; BDI II = Beck-Depressions-Inventar Revision; T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung

Abbildung 4 *Ergebnisse Beck Depressions Inventar im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen*



BDI II = Beck-Depressions-Inventar Revision; T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung

Abbildung 5 *Ergebnisse Beck Depressions Inventar – Mittelwerte der einzelnen Items im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen*



1 Traurigkeit; 2 Pessimismus; 3 Versagensgefühle; 4 Verlust von Freude; 5 Schuldgefühle; 6 Bestrafungsgefühle; 7 Selbstablehnung; 8 Selbstvorwürfe; 9 Selbstmordgedanken; 10 Weinen; 11 Unruhe; 12 Interessensverlust; 13 Entschlussunfähigkeit; 14 Wertlosigkeit; 15 Energieverlust; 16 Veränderung der Schlafgewohnheiten; 17 Reizbarkeit; 18 Veränderung des Appetits; 19 Konzentrationsschwierigkeiten; 20 Ermüdung oder Erschöpfung; 21 Verlust an sexuellem Interesse; BDI II = Beck-Depressions-Inventar Revision; T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung

Je nach erreichtem Gesamtscore kann die Depressionsneigung festgestellt werden. Auch hier zeigte sich weder ein Unterschied zwischen Spielerinnen und Kontrollprobandinnen an der Baseline noch im longitudinalen Vergleich.

Tabelle 9 *Ergebnisse Beck Depressions Inventar – Depressionsneigung der Spielerinnen im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 und im Querschnittsvergleich zu den Kontroll-probandinnen bei T0*

BDI II - Depressionsneigung	Spielerinnen T0 N = 20	Kontrollen N = 20	Spielerinnen T1 N = 19
Keine/minimal [1] (0-13 Punkte)	13 (65%)	16 (80%)	14 (70%)
Leicht [1] (14-19 Punkte)	5 (25%)	2 (10%)	3 (15%)
Mittelgradig [1] (20-28 Punkte)	2 (10%)	2 (10%)	2 (10%)
Schwer [1] (29-63 Punkte)	0	0	0

[1] Häufigkeit (prozentual); BDI II = Beck-Depressions-Inventar Revision; T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung

4.6.2 Apathy Evaluation Scale

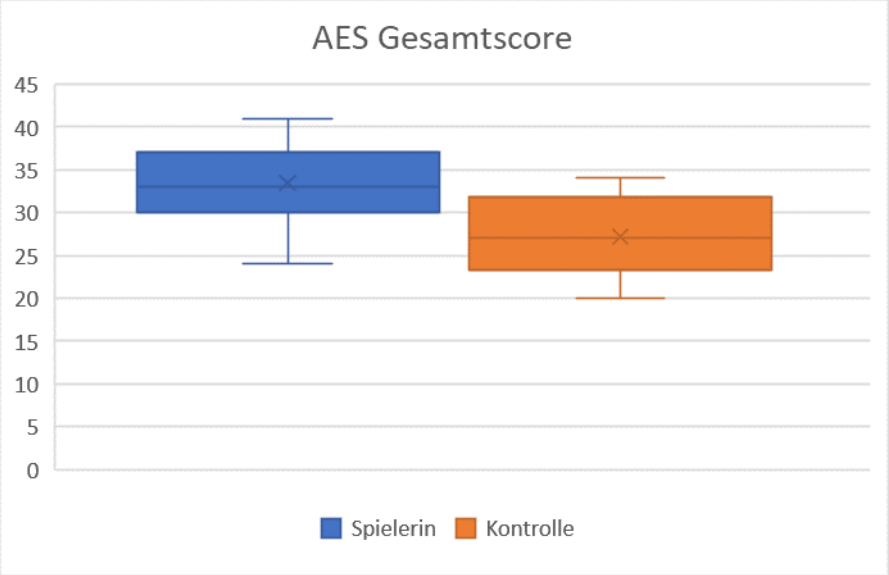
Beim Gesamtscore der AES zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Spielerinnen und Kontrollprobandinnen. Die Ergebnisse sind als Box Plot in Abbildung 6 dargestellt.

Tabelle 10 *Ergebnisse Apathy Evaluation Scale im Querschnittsvergleich zum Zeitpunkt T0 für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen*

AES Gesamtscore – T0	Spielerinnen N = 20	Kontrollprobandinnen N = 20	*p*-Wert
Gesamtscore [1]	33,45 ± 4,98	27,15 ± 4,8	**< 0,001** [2]

[1] Mittelwert ± Standardabweichung [2] t-Test AES = Apathy Evaluation Scale; T0 = Baseline Testung; fettgedruckte Zahlen = Signifikanzniveau erreicht

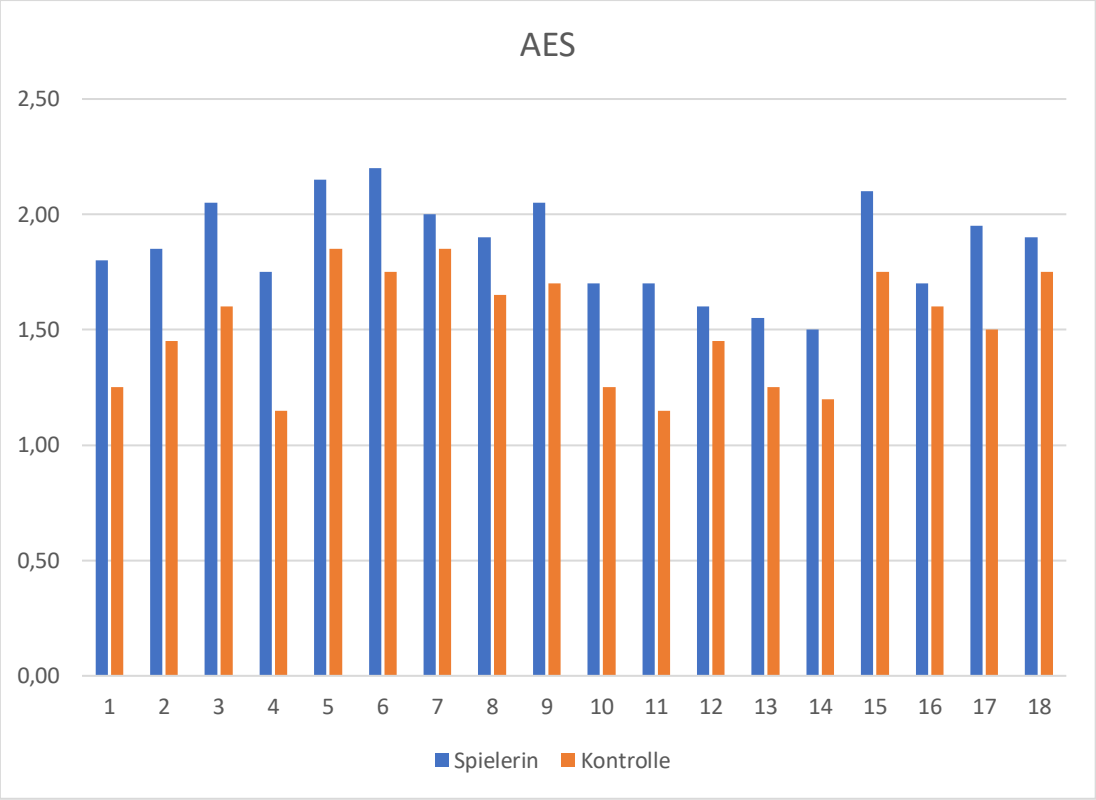
Abbildung 6 *Ergebnisse Apathy Evaluation Scale im Querschnittsvergleich zum Zeitpunkt T0 für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen*



AES = Apathy Evaluation Scale

Jedes Item wurde zusätzlich in Kreuztabellen einzeln betrachtet, hier zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Fragen „Er/Sie interessiert sich für Dinge“ (p = 0,023) und „Er/Sie ist daran interessiert, neue Erfahrungen zu machen“ (p = 0,01) (Abbildung 7, Item 1 und Item 4).

Abbildung 7 *Ergebnisse Apathy Evaluation Score - Mittelwerte der einzelnen Items der Spielerinnen und der Kontrollprobandinnen im Querschnittsvergleich zum Zeitpunkt T0*



1 Er/Sie interessiert sich für Dinge.; 2 Er/Sie erledigt Dinge während des Tages.; 3 Es ist ihm/ihr wichtig, Dinge selbst zu beginnen.; 4 Er/Sie ist daran interessiert, neue Erfahrungen zu machen.; 5 Er/Sie ist am Lernen neuer Dinge interessiert.; 6 Er/Sie gibt sich bei allem wenig Mühe.; 7 Er/Sie begegnet dem Leben mit Vitalität.; 8 Eine Tätigkeit bis zum Ende durchzuhalten ist ihm/ihr wichtig.; 9 Er/Sie verbringt Zeit damit Dinge zu tun, die ihn/sie interessieren.; 10 Jemand muss ihm/ihr sagen, was er/sie täglich tun soll.; 11 Er/Sie ist weniger besorgt über seine/ihre Probleme, als er/sie sein sollte.; 12 Er/Sie hat Freunde.; 13 Das Zusammenkommen mit Freunden ist ihm/ihr wichtig.; 14 Wenn etwas Gutes passiert ist er/sie begeistert.; 15 Er/Sie hat ein gutes Verständnis seiner/ihrer Probleme.; 15 Während des Tages Dinge zu erledigen ist ihm/ihr wichtig.; 17 Er/Sie hat Eigeninitiative.; 18 Er/Sie hat Motivation.; AES = Apathy Evaluation Scale.

Es konnte kein signifikanter Unterschied im longitudinalen Vergleich festgestellt werden.

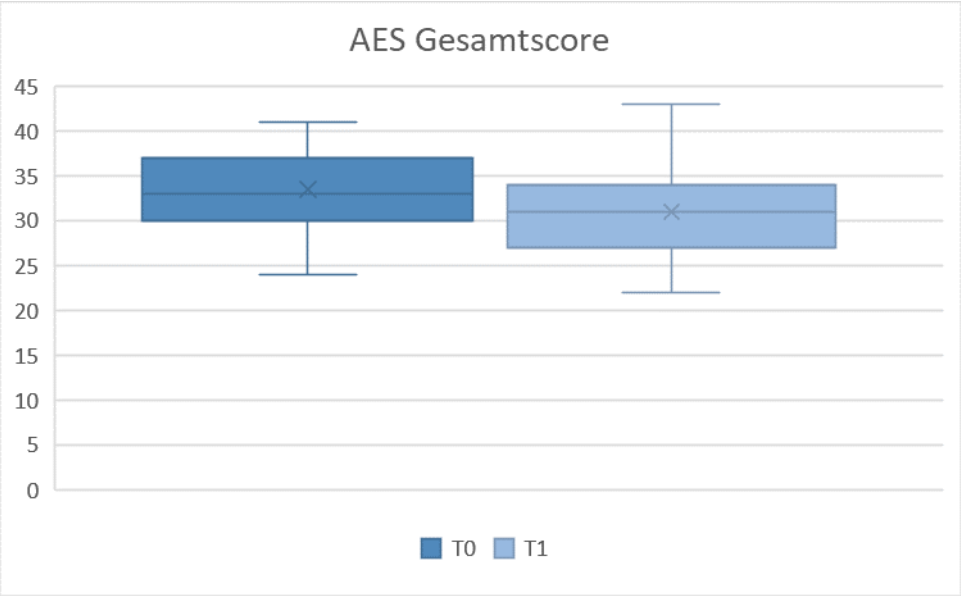
Die Ergebnisse sind als Box Plot in Abbildung 8 veranschaulicht.

Tabelle 11 *Ergebnisse Apathy Evaluation Scale im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen*

AES Gesamtscore – T0 / T1	Spielerinnen T0 N = 19	Spielerinnen T1 N = 19	*p*-Wert
Gesamtscore [1]	33,47 ± 5,11	31 ± 5,32	0,051 [2]

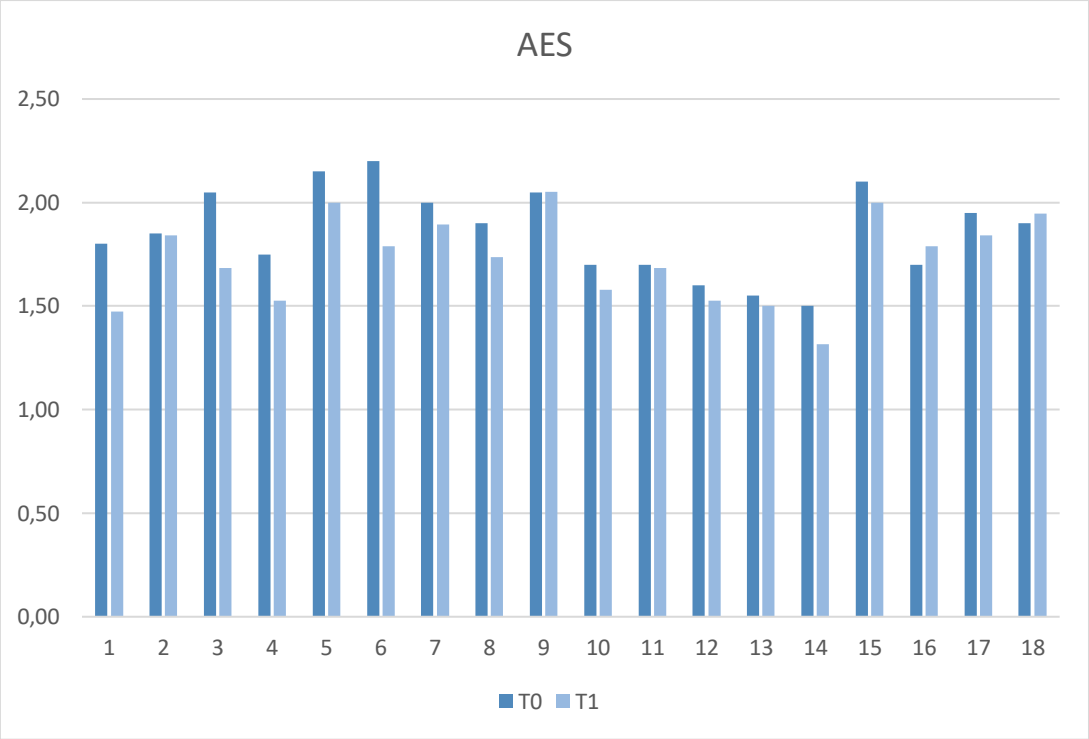
[1] Mittelwert ± Standardabweichung [2] t-Test AES = Apathy Evaluation Scale; T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung

Abbildung 8 *Ergebnisse Apathy Evaluation Score im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen*



AES = Apathy Evaluation Scale; T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung

Abbildung 9 *Ergebnisse Apathy Evaluation Score – Mittelwerte der einzelnen Items im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen*



1 Er/Sie interessiert sich für Dinge.; 2 Er/Sie erledigt Dinge während des Tages.; 3 Es ist ihm/ihr wichtig, Dinge selbst zu beginnen.; 4 Er/Sie ist daran interessiert, neue Erfahrungen zu machen.; 5 Er/Sie ist am Lernen neuer Dinge interessiert.; 6 Er/Sie gibt sich bei allem wenig Mühe.; 7 Er/Sie begegnet dem Leben mit Vitalität.; 8 Eine Tätigkeit bis zum Ende durchzuhalten ist ihm/ihr wichtig.; 9 Er/Sie verbringt Zeit damit Dinge zu tun, die ihn/sie interessieren.; 10 Jemand muss ihm/ihr sagen, was er/sie täglich tun soll.; 11 Er/Sie ist weniger besorgt über seine/ihre Probleme, als er/sie sein sollte.; 12 Er/Sie hat Freunde.; 13 Das Zusammenkommen mit Freunden ist ihm/ihr wichtig.; 14 Wenn etwas Gutes passiert ist er/sie begeistert.; 15 Er/Sie hat ein gutes Verständnis seiner/ihrer Probleme.; 15 Während des Tages Dinge zu erledigen ist ihm/ihr wichtig.; 17 Er/Sie hat Eigeninitiative.; 18 Er/Sie hat Motivation.; AES = Apathy Evaluation Scale; T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung

4.7 Gesundheitsbezogene Lebensqualität

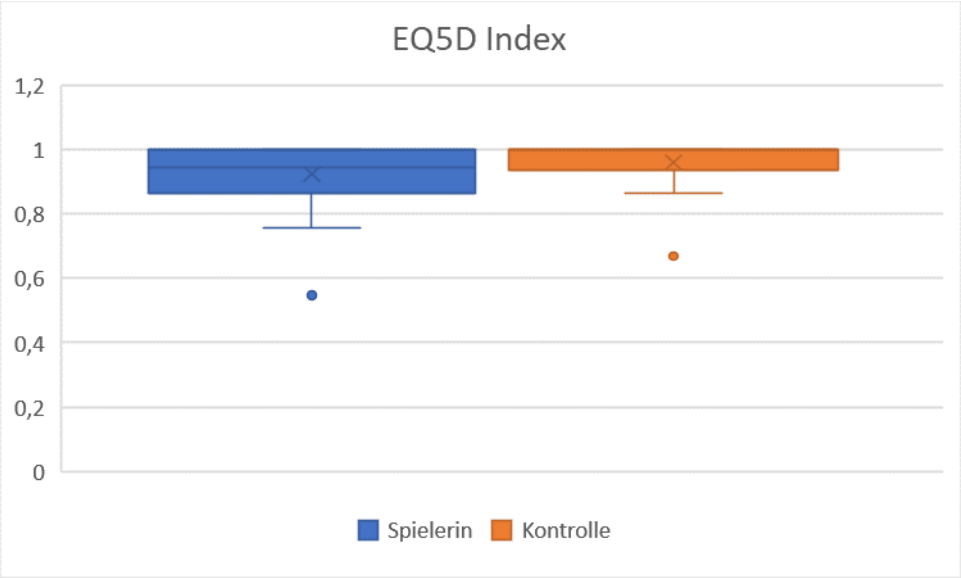
Bezüglich des Gesundheitsstatus anhand des EQ-5D-5L zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Spielerinnen und Kontrollprobandinnen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 dargestellt.

Tabelle 12 *Ergebnisse European Quality of Life im Querschnittsvergleich zum Zeitpunkt T0 für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen*

EQ5D Index – T0	Spielerinnen N = 19	Kontrollprobandinnen N = 20	p-Wert
Index [1]	0,92 ± 0,11	0,96 ± 0,08	0,247 [2]

[1] Mittelwert ± Standardabweichung [2] Mann-Whitney-U-Test EQ5D = European Quality of Life 5 Dimensions; T0 = Baseline Testung

Abbildung 10 *Ergebnisse European Quality of Life im Querschnittsvergleich zum Zeitpunkt T0 für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen*



EQ5D = European Quality of Life 5 Dimensions; T0 = Baseline Testung

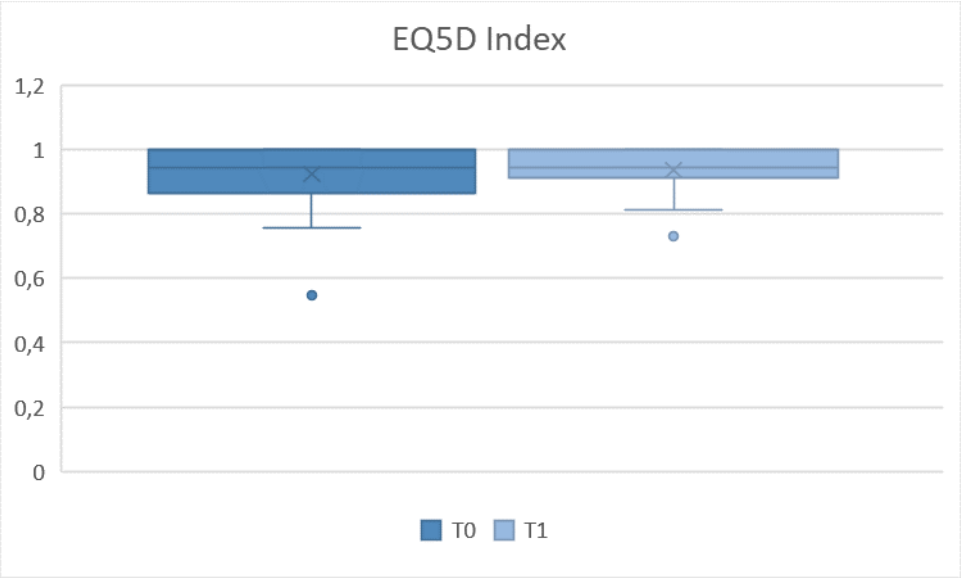
Die longitudinale Differenz war ebenfalls nicht statistisch signifikant. Die Ergebnisse sind als Boxplot in Abbildung 11 veranschaulicht.

Tabelle 13 *Ergebnisse European Quality of Life im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen*

EQ5D Index – T0 / T1	Spielerinnen T0 N = 18	Spielerinnen T1 N = 18	*p*-Wert
Index [1]	0,92 ± 0,12	0,94 ± 0,08	0,611 [2]

[1] Mittelwert ± Standardabweichung [2] t-Test EQ5D = European Quality of Life 5 Dimensions; T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung

Abbildung 11 *Ergebnisse European Quality of Life im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen*



EQ5D = European Quality of Life 5 Dimensions; T0 = Baseline Testung; T1 = Postseason Testung

5 DISKUSSION

Diese Studie hatte das Ziel, zu überprüfen, ob bei weiblichen American Football Spielerinnen emotionale und kognitive Veränderungen im Gegensatz zu gesunden Kontrollprobandinnen vorliegen und ob sich im longitudinalen Vergleich einer gespielten Saison Veränderungen in diesen Parametern nachweisen lassen.

5.1 Interpretation der Ergebnisse

5.1.1 Kognitive Veränderungen

Anhand einer Testbatterie von neun neuropsychologischen Tests wurde überprüft, ob bei den Spielerinnen und Kontrollprobandinnen kognitive Veränderungen festgestellt werden können.

Im Querschnittsvergleich zeigte sich im VLMT bei den Spielerinnen eine signifikant schlechtere Lern- und verzögerte Erinnerungsleistung, sowie ein höherer Verlust der Lernleistung nach Verzögerung.

Es konnte eine Verbesserung der Spielerinnen im TMT Untertest A zum Zeitpunkt T1 gegenüber T0 festgestellt werden. Der TMT Untertest A testet die Aufmerksamkeit der Versuchsperson. American Football ist eine Sportart, die durch die schnelle Aufstellung und Abfolge der Spielzüge sehr viel Aufmerksamkeit fordert und fördert, weshalb das Ergebnis gegebenenfalls hierauf zurückzuführen ist. Da der TMT Untertest A nur in einer Version verfügbar ist, könnte das Ergebnis jedoch auch durch einen Lerneffekt beeinflusst sein.

Im longitudinalen Vergleich zeigte sich zudem eine Verschlechterung bei den Spielerinnen im phonetischen Teil des RWT. Bei T0 wurden S-Wörter gefordert, bei T1 P-Wörter. Das Ergebnis kann eine tatsächliche Verschlechterung der exekutiven Funktionen im Bereich Wortflüssigkeit abbilden, könnte jedoch auch durch den gewählten Untertest beeinflusst sein.

Die Kontrollprobandinnen wurden nur einmalig zum Zeitpunkt T0 getestet. Da bei T1 nur die Spielerinnen getestet wurden, kann nicht sicher gesagt werden, inwieweit das Ergebnis auf einen Lerneffekt oder auf die gewählte Testversion zurückzuführen sein könnte. Dies müsste in zukünftigen Studienmodellen verbessert werden.

In einer 2024 bei deutschen, männlichen Footballspielern durchgeführten Studie wurde die gleiche Testbatterie wie im Rahmen dieser Arbeit benutzt. Hier konnte bei den Spielern in der Baselinetestung eine signifikant bessere, sowie im longitudinalen Vergleich verbesserte Leistung im RCFT nachgewiesen werden. In den übrigen neuropsychologischen Tests zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (Bastgen et al., 2024).

Weitere bereits veröffentlichte Studien, die vor allem aus dem amerikanischen Raum erscheinen, nutzen vorgefertigte Tools für die Diagnose einer Gehirnerschütterung, wie zum Beispiel ImPACT, SCAT oder CRI. Vergleiche zur hier gewählten Testbatterie zu ziehen war nicht möglich. Dies sollte ebenfalls in zukünftigen Studienmodellen überdacht werden.

5.1.2 Emotionale Veränderungen

Mithilfe verschiedener etablierter und validierter Fragebögen wurde getestet, ob bei den Spielerinnen und Kontrollprobandinnen emotionale Veränderungen vorliegen.

In der Baseline-Testung zeigte sich, dass die Spielerinnen insgesamt signifikant apathischer sind, was mithilfe des Apathy Evaluation Score festgestellt wurde. Eine Studie zur deutschsprachigen Übersetzung des AES zeigte in der gesunden Kontrollgruppe (bestehend aus 37 Personen mit einem mittleren Alter von 65 Jahren) einen Mittelwert von 23,5 (± 5,8). Die Spielerinnen zeigen zu beiden Zeitpunkten (T0 und T1) eine deutliche Abweichung. (Lueken et al., 2006) Studien zu gleichaltrigen Kontrollpersonen konnten nicht gefunden werden.

Anhand des BDI konnte außerdem gezeigt werden, dass Spielerinnen häufiger an Selbstmord denken als Kontrollprobandinnen. Eine Vergleichsstudie mit Betrachtung der einzelnen Items in der deutschen Bevölkerung konnte nicht gefunden werden. Das Gesamtergebnis des BDI ist bei den Kontrollprobandinnen und den Spielerinnen in der Postseason Testung jedoch vergleichbar mit der allgemeinen deutschen Normalbevölkerung (7,69 ± 7,52). Getestet wurden 18-70-jährige Männer und Frauen, es zeigte sich keine Korrelation von Depressivität mit Alter oder Geschlecht. Die Spielerinnen liegen in der Preseason Testung außerhalb des Konfidenzintervalls der Testung in der Normalbevölkerung (6,9 – 8,5) (Kühner et al., 2007).

Diese Erkenntnisse sind bezogen auf den aktuellen Literaturstand neu. Unseres Wissens wurden bislang keine Studien durchgeführt, die bei weiblichen Kontaktsportlerinnen Baseline-Testungen bezüglich emotionaler Veränderungen im Vergleich zu Kontroll-probandinnen durchführte.

Stern et al. führten eine retrospektive Studie zur klinischen Präsentation der CTE durch. Eingeschlossen wurden 33 Männer mit post mortem diagnostizierter CTE, die vorliegenden Symptome und die Reihenfolge des Auftretens wurden über Befragungen von Angehörigen erfasst. Alle Männer waren Sportler, 80% spielten American Football. Die Subjekte konnten in zwei Gruppen eingeteilt werden, bei der einen Gruppe traten zuerst kognitive Symptome (z. B. Beeinträchtigungen des Gedächtnisses), bei der anderen Gruppe zuerst Verhaltens- oder Stimmungsveränderungen (z. B. Aggressivität, Impulsivität oder Depressionen) auf. Die Studie zeigte, dass die Symptome in der Gruppe mit Verhaltens- oder Stimmungsveränderungen signifikant früher auftraten (34,5 ± 11,6 vs. 58,5 ± 17,7 Jahre) und die Individuen in einem jüngeren Alter verstorben sind (51,4 ± 18,5 vs. 69,2 ± 21,8 Jahre) (Stern et al., 2013).

Bezogen auf unsere Untersuchungsergebnisse sind diese Zusammenhänge besonders alarmierend.

5.2 Limitationen

Die Testungen für die vorliegende Studie wurden von Sommer 2021 bis Anfang 2022 durchgeführt. Dieser Zeitraum war deutlich durch die Corona-Pandemie geprägt. Da American Football, vor allem im Damenbereich, in Deutschland nur semiprofessionell gespielt wird, war im gesamten Jahr 2020, sowie in der ersten Jahreshälfte 2021 sowohl die Saison vollständig als auch das Training zu großen Teilen ausgefallen. Auch die Saison 2021 wurde verkürzt und bestand nur aus drei (Bochum Miners), beziehungsweise vier (Wuppertal Greyhounds, Solingen Paladins) statt aus den geplanten acht Spielen. Diese Umstände könnten zu einer Beeinflussung der Ergebnisse geführt haben.

Die Spielerinnen zeigten im Vergleich zu den Kontrollprobandinnen einen signifikant höheren BMI. Studien zur Korrelation zwischen BMI und Apathie konnten nicht gefunden werden. Somit kann ein Zusammenhang hier nicht ausgeschlossen werden.

Diese Studie ist unserer Kenntnis nach die erste Kohortenstudie zu weiblichen American Football Spielerinnen weltweit, Vergleiche wurden deshalb zu anderen Kontaktsportarten (Fußball, Rugby, Boxen, Eis- oder Feldhockey) gezogen.
Anhand unseres Studienprotokolls wurden Spielerinnen vor und nach der Saison getestet, Kontrollprobandinnen jedoch nur einmalig. So konnte ein eventueller Lerneffekt bei neuropsychologischen Testungen nicht reproduziert und gegengeprüft werden. Dies sollte bei zukünftigen Studienmodellen überdacht werden.
Die Studie wurde nur über eine (aufgrund des Coronavirus verkürzte) Saison durchgeführt. Hier sind Studienmodelle über einen längeren Zeitraum, mindestens über eine Saison ungekürzter Länge, notwendig. In der 2. Damenbundesliga in Deutschland entspricht dies meist 8-10 Spielen. Wie in Tabelle 3 dargestellt, haben die untersuchten Spielerinnen eine durchschnittliche Football-Erfahrung von 3,7 Jahren. Eine Ausweitung des Beobachtungszeitraumes wäre also denkbar, wobei natürlich die Gefahr einer erhöhten Dropout-Rate bestehen würde. Für diese Studie wurden Spielerinnen aus drei Vereinen der umliegenden Region eingeschlossen. Deutschlandweit gibt es über 50 Damenvereine (Deutschland, 2024), eine Erhöhung der Zahl der Probandinnen sollte also ebenfalls möglich sein.

5.3 Relevanz für weitere Forschungsprojekte

Anhand dieser Studie konnte eine erhöhte Apathieneigung bei weiblichen American Football Spielerinnen im Vergleich zu einer gleichaltrigen, gesunden Kontrollgruppe nachgewiesen werden, sowie erste Anzeichen kognitiver Verschlechterung.
Über den Zeitraum einer durch die Corona-Pandemie verkürzten Saison zeigten sich keine weiteren Veränderungen unter den Spielerinnen.
Weitere Forschungsprojekte müssen durchgeführt werden, um festzustellen, ob durch weitere repetitive Kopftraumata weitere kognitive und emotionale Veränderungen festzustellen sind.
Studien in anderen Sportarten haben bereits gezeigt, dass das weibliche Geschlecht ein Risikofaktor für das alleinige Auftreten einer Gehirnerschütterung (Collins et al., 2014; Fraser et al., 2017) und für einen schlechteren neurologischen Verlauf dieser ist (Broshek et al., 2005; Covassin et al., 2013; Maher et al., 2014; Vedung et al., 2020).

Umfangreichere Studien mit größerer Studienpopulation und längerem Beobachtungszeitraum sind unbedingt notwendig, um weiter nachzuforschen, inwiefern dies auch für weibliche American Football Spielerinnen zutrifft.

5.4 Ausblick

In den vergangenen Jahren haben sportassoziierte Schädel-Hirn-Traumata immer mehr mediale Präsenz bekommen. In der amerikanischen National Football League (NFL) wurde 2011 erstmalig das „NFL Head, Neck and Spine Committee's Concussion Diagnosis and Management Protocol" veröffentlicht, welches jährlich überarbeitet wird. Nach diesem Protokoll müssen an jedem Spieltag drei medizinische Fachberater:innen anwesend sein, die nach einem Schlag gegen den Kopf nach Zeichen einer Gehirnerschütterung suchen und über das Weiterspielen oder gegebenenfalls notwendige weitere medizinische Versorgung entscheiden. Um nach einer diagnostizierten Gehirnerschütterung zum Training zurückzukehren, gibt es ebenfalls ein aus fünf Phasen bestehendes Protokoll, welches von dem Spieler durchlaufen werden muss (League, 2022).

In Deutschland und vor allem im semiprofessionellen Damenfootball sind wir von dieser Versorgung noch weit entfernt. Alle Spielerinnen gaben an, dass an den Spieltagen kein ärztliches Personal für die medizinische Versorgung vor Ort wäre. Auf einer Skala von 1 bis 100 (beste Bewertung) wurde die medizinische Versorgung am Spieltag mit durchschnittlich nur 43 Punkten bewertet. 18 von 20 Spielerinnen gaben an, dass sie selbst die Entscheidung darüber trafen, ob sie nach einem harten Hit gegen den Helm weiter am Spielgeschehen teilnehmen würden.

Studien haben bereits gezeigt, dass Frauen in anderen Kontaktsportarten ein höheres Risiko haben, eine Gehirnerschütterung zu erleiden als Männer (Collins et al., 2014; Fraser et al., 2017), zu weiblichen American Football Spielerinnen gibt es bislang keine Daten.

Weitere Forschungsprojekte sind notwendig, die mit größeren Fallzahlen über einen längeren Zeitraum untersuchen, inwieweit weibliche American Football Spielerinnen durch repetitive Kopfanpralltraumata beeinträchtigt werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Gehirnerschütterungen werden definiert als eine traumatische Verletzung des Gehirns, die durch einen indirekten oder direkten Stoß ausgelöst werden und zu neurologischen Symptomen oder neuropathologischen Veränderungen führen kann. Eine gefürchtete Konsequenz repetitiver Gehirnerschütterungen und subkonkussiver Kopfanpralltraumata ist die chronisch-traumatische Enzephalopathies (CTE). American Football ist eine aus den Vereinigten Staaten stammende Kontaktsportart, die ein Risiko für Schädel-Hirn-Traumata birgt und zu der schon viele Studien zu männlichen Spielern durchgeführt wurden.

Diese Studie hatte das Ziel zu überprüfen, ob bei weiblichen American Football Spielerinnen emotionale und kognitive Veränderungen im Gegensatz zu gesunden Kontrollprobandinnen vorliegen und ob es im longitudinalen Vergleich einer gespielten Saison zu Veränderungen kommt. Hierzu wurden zwanzig Spielerinnen und zwanzig Kontrollprobandinnen akquiriert. Mittels Fragebögen wurden die sportliche Karriere, bisherige Schädel-Hirn-Traumata, Depressions- und Apathieneigung, sowie die gesundheitsbezogene Lebensqualität erfasst. Neuropsychometrische Testverfahren wurden zur Abbildung kognitiver Veränderungen eingesetzt.

Es konnte gezeigt werden, dass die Spielerinnen an der Baseline einen signifikant höheren Apathiescore erreichten, als die Kontrollprobandinnen. Außerdem zeigten sich im Querschnittsvergleich an der Baseline für die Spielerinnen signifikant schlechtere Ergebnisse in der Testung für das verbale Gedächtnis, sowie im longitudinalen Vergleich eine Verschlechterung im phonetischen Untertest des Regensburger Wortflüssigkeitstests und eine Verbesserung im Trail Making Test Subtest A (TMT A).

Studien in anderen Kontaktsportarten zeigten bereits ein höheres Risiko für weibliche Sportlerinnen, eine Gehirnerschütterung zu erleiden. Da Apathie und neurologische Symptome erste Anzeichen einer CTE sein können, sind die Ergebnisse besonders alarmierend.

Weitere Forschungsprojekte sind notwendig, die mit größeren Fallzahlen über einen längeren Zeitraum untersuchen, inwieweit weibliche American Football Spielerinnen durch repetitive Kopfanpralltraumata beeinträchtigt werden.

7 ABSTRACT

Concussion is defined as a traumatic brain injury caused by a direct or indirect impact and can result in neurologic symptoms or neuropathological changes. Chronic-traumatic encephalopathy (CTE) is a feared consequence of repetitive concussions and subconcussive head trauma. American Football is a contact sport from the United States of America, which has a high risk for receiving concussions. Several studies have been conducted on male players but not in female players.

This study's objective was to investigate whether female American Football players had emotional or cognitive differences in comparison to healthy controls and whether changes could be seen after one season. To achieve this, 20 female players and 20 healthy controls were included. Sports career, previous concussions, depression, apathy, and health-related quality of life were assessed via questionnaires. Neuropsychiatric tests were used to show cognitive changes.

Players had a significantly higher score of apathy at baseline in comparison to controls. Over the course of a season, they also had changes in two of the nine neuropsychiatric tests (decline for RWT, improvement for TMT A).

Studies in other contact sports have already shown that female athletes have a higher risk of receiving a concussion. The results are alarming because apathy and neurological symptoms can both be first signs of CTE.

More projects with larger numbers of participants and over longer times are needed to examine, how female athletes of American Football are impacted by repetitive head trauma.

8 LITERATURVERZEICHNIS

1. Agel, J., Dick, R., Nelson, B., Marshall, S.W., and Dompier, T.P. (2007a). Descriptive epidemiology of collegiate women's ice hockey injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 2000-2001 through 2003-2004. J Athl Train *42*, 249-254.

2. Agel, J., Dompier, T.P., Dick, R., and Marshall, S.W. (2007b). Descriptive epidemiology of collegiate men's ice hockey injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2003-2004. J Athl Train *42*, 241-248.

3. Agel, J., Evans, T.A., Dick, R., Putukian, M., and Marshall, S.W. (2007c). Descriptive epidemiology of collegiate men's soccer injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2002-2003. J Athl Train *42*, 270-277.

4. Armstrong, T., and Bull, F. (2006). Development of the World Health Organization Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). J Public Health *14*, 66-70.

5. Aschenbrenner, S., Tucha, O., and Lange, K.W. (2000). Regensburger Wortflüssigkeits-Test : RWT (Göttingen ; Bern ; Toronto ; Seattle: Hogrefe, Verl. für Psychologie).

6. Aubry, M., Cantu, R., Dvorak, J., Graf-Baumann, T., Johnston, K., Kelly, J., Lovell, M., McCrory, P., Meeuwisse, W., and Schamasch, P. (2002). Summary and agreement statement of the First International Conference on Concussion in Sport, Vienna 2001. Recommendations for the improvement of safety and health of athletes who may suffer concussive injuries. Br J Sports Med *36*, 6-10.

7. Bastgen, T., Evers, J., Oedekoven, C., Weide, C., Herzog, L., Ashton, N., Zetterberg, H., Blennow, K., Albus, A., Vidovic, N., Kraff, O., Deuschl, C., Dodel, R., and Ross, J.A. (2024). Repetitive head injuries in German American football players do not change blood-based biomarker candidates for CTE during a single season. Neurological Research and Practice *6*, 13.

8. Bäumler, G. (1985). Farbe-Wort-Interferenztest (FWIT) nach J. R. Stroop : Handanweisung (Göttingen [u.a.]: Verl. für Psychologie Hogrefe).

9. Brainard, L.L., Beckwith, J.G., Chu, J.J., Crisco, J.J., McAllister, T.W., Duhaime, A.C., Maerlender, A.C., and Greenwald, R.M. (2012). Gender differences in head impacts sustained by collegiate ice hockey players. Med Sci Sports Exerc *44*, 297-304.

10. Broshek, D.K., Kaushik, T., Freeman, J.R., Erlanger, D., Webbe, F., and Barth, J.T. (2005). Sex differences in outcome following sports-related concussion. J Neurosurg *102*, 856-863.

11. Cantu, R.C. (2001). Posttraumatic Retrograde and Anterograde Amnesia: Pathophysiology and Implications in Grading and Safe Return to Play. J Athl Train *36*, 244-248.

12. Charlson, M.E., Pompei, P., Ales, K.L., and MacKenzie, C.R. (1987). A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. J Chronic Dis *40*, 373-383.

13. Collins, C.L., Fletcher, E.N., Fields, S.K., Kluchurosky, L., Rohrkemper, M.K., Comstock, R.D., and Cantu, R.C. (2014). Neck strength: a protective factor reducing risk for concussion in high school sports. J Prim Prev *35*, 309-319.

14. Covassin, T., Elbin, R.J., Bleecker, A., Lipchik, A., and Kontos, A.P. (2013). Are there differences in neurocognitive function and symptoms between male and female soccer players after concussions? Am J Sports Med *41*, 2890-2895.

15. Currie, S., Saleem, N., Straiton, J.A., Macmullen-Price, J., Warren, D.J., and Craven, I.J. (2016). Imaging assessment of traumatic brain injury. Postgrad Med J *92*, 41-50.

16. Deutschland, A.F.V. (2021). Bundesspielordnung des American Football Verband Deutschland e.V. Retrieved 30.04.2022, Online-Publikation; https://www.afvd.de/wp-content/uploads/sites/2/downloads/BSO%202022%20Stand%2020211231.pdf

17. Deutschland, A.F.V. (2024). Ladiesfootball Teams. Retrieved 07.05., 2024, Online-Publikation; https://www.ladiesbowl.de/teams/

18. Dick, R., Putukian, M., Agel, J., Evans, T.A., and Marshall, S.W. (2007). Descriptive epidemiology of collegiate women's soccer injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2002-2003. J Athl Train *42*, 278-285.

19. Dougan, B.K., Horswill, M.S., and Geffen, G.M. (2014). Athletes' age, sex, and years of education moderate the acute neuropsychological impact of sports-related concussion: a meta-analysis. J Int Neuropsychol Soc *20*, 64-80.

20. Ellemberg, D., Leclerc, S., Couture, S., and Daigle, C. (2007). Prolonged neuropsychological impairments following a first concussion in female university soccer athletes. Clin J Sport Med *17*, 369-374.

21. Fraser, M.A., Grooms, D.R., Guskiewicz, K.M., and Kerr, Z.Y. (2017). Ball-Contact Injuries in 11 National Collegiate Athletic Association Sports: The Injury Surveillance Program, 2009-2010 Through 2014-2015. J Athl Train *52*, 698-707.

22. Fuller, C.W., Junge, A., and Dvorak, J. (2005). A six year prospective study of the incidence and causes of head and neck injuries in international football. Br J Sports Med *39 Suppl 1*, i3-9.

23. Ghajari, M., Hellyer, P.J., and Sharp, D.J. (2017). Computational modelling of traumatic brain injury predicts the location of chronic traumatic encephalopathy pathology. Brain *140*, 333-343.

24. Group, E. (1990). EuroQol--a new facility for the measurement of health-related quality of life. Health Policy *16*, 199-208.

25. Hautzinger, M., Keller, F., and Kühner, C. (2006). Beck Depressions-Inventar : BDI II.Revision, Revision (Frankfurt am Main: Harcourt Test Services).

26. Helmer, K.G., Pasternak, O., Fredman, E., Preciado, R.I., Koerte, I.K., Sasaki, T., Mayinger, M., Johnson, A.M., Holmes, J.D., Forwell, L.A., Skopelja, E.N., Shenton, M.E., and Echlin, P.S. (2014). Hockey Concussion Education Project, Part 1. Susceptibility-weighted imaging study in male and female ice hockey players over a single season. J Neurosurg *120*, 864-872.

27. Helmstaedter, C., and Durwen, H.F. (1990). VLMT: Verbaler Lern- und Merkfähigkeitstest: Ein praktikables und differenziertes Instrumentarium zur Prüfung der verbalen Gedächtnisleistungen. [VLMT: A useful tool to assess and differentiate verbal memory performance.]. Schweizer Archiv für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie *141*, 21-30.

28. Inc., I.A. Post-Concussion Symptom Scale (Concussionmanagement.com: ImPACT Applications Inc.), pp. https://impacttest.com/wp-content/uploads/Post-Concussion-Symptom-Scale.pdf.

29. Kaushik, T., and Erlanger, D.M. (2006). The HeadMinder Concussion Resolution Index. In Sports neuropsychology: Assessment and management of traumatic brain injury (New York, NY, US: The Guilford Press), pp. 216-239.

30. Kim, N., Branch, C.A., Kim, M., and Lipton, M.L. (2013). Whole brain approaches for identification of microstructural abnormalities in individual patients: comparison of techniques applied to mild traumatic brain injury. PLoS One *8*, e59382.

31. Kühner, C., Bürger, C., Keller, F., and Hautzinger, M. (2007). [Reliability and validity of the Revised Beck Depression Inventory (BDI-II). Results from German samples]. Nervenarzt *78*, 651-656.

32. Lamond, L.C., Caccese, J.B., Buckley, T.A., Glutting, J., and Kaminski, T.W. (2018). Linear Acceleration in Direct Head Contact Across Impact Type, Player Position, and Playing Scenario in Collegiate Women's Soccer Players. J Athl Train *53*, 115-121.

33. League, N.F. (2022). NFL Head, Neck and Spine Committee's Concussion Diagnosis and Management Protocol (NFL), pp. https://static.www.nfl.com/image/upload/v1665264248/league/moexjmdzy1665264242kvjtqsdpbx.pdf.

34. Lipton, M.L., Gulko, E., Zimmerman, M.E., Friedman, B.W., Kim, M., Gellella, E., Gold, T., Shifteh, K., Ardekani, B.A., and Branch, C.A. (2009). Diffusion-tensor imaging implicates prefrontal axonal injury in executive function impairment following very mild traumatic brain injury. Radiology *252*, 816-824.

35. Lopez, V., Jr., Ma, R., Weinstein, M.G., Cantu, R.C., Myers, L.S., Nadkar, N.S., Victoria, C., and Allen, A.A. (2016). Concussive Injuries in Rugby 7s: An American Experience and Current Review. Med Sci Sports Exerc *48*, 1320-1330.

36. Lueken, U., Seidl, U., Schwarz, M., Völker, L., Naumann, D., Mattes, K., Schröder, J., and Schweiger, E. (2006). Die Apathy Evaluation Scale: Erste Ergebnisse zu den psychometrischen Eigenschaften einer deutschsprachigen Übersetzung der Skala. Fortschr Neurol Psychiatr *74*, 714-722.

37. Maher, M.E., Hutchison, M., Cusimano, M., Comper, P., and Schweizer, T.A. (2014). Concussions and heading in soccer: a review of the evidence of incidence, mechanisms, biomarkers and neurocognitive outcomes. Brain Inj *28*, 271-285.

38. McCrory, P., Meeuwisse, W., Dvorak, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., Cantu, R.C., Cassidy, D., Echemendia, R.J., Castellani, R.J., Davis, G.A., Ellenbogen, R., Emery, C., Engebretsen, L., Feddermann-Demont, N., Giza, C.C., Guskiewicz, K.M., Herring, S., Iverson, G.L., Johnston, K.M., Kissick, J., Kutcher, J., Leddy, J.J., Maddocks, D., Makdissi, M., Manley, G.T., McCrea, M., Meehan, W.P., Nagahiro, S., Patricios, J., Putukian, M., Schneider, K.J., Sills, A., Tator, C.H., Turner, M., and Vos, P.E. (2017). Consensus statement on concussion in sport-the 5(th) international conference on concussion in sport held in Berlin, October 2016. Br J Sports Med *51*, 838-847.

39. Montenigro, P.H., Baugh, C.M., Daneshvar, D.H., Mez, J., Budson, A.E., Au, R., Katz, D.I., Cantu, R.C., and Stern, R.A. (2014). Clinical subtypes of chronic traumatic encephalopathy: literature review and proposed research diagnostic criteria for traumatic encephalopathy syndrome. Alzheimers Res Ther *6*, 68.

40. Osterrieth, P.A. (1944). Le test de copie d'une figure complexe; contribution à l'étude de la perception et de la mémoire. [Test of copying a complex figure; contribution to the study of perception and memory.]. Archives de Psychologie *30*, 206-356.

41. Pan, J., Connolly, I.D., Dangelmajer, S., Kintzing, J., Ho, A.L., and Grant, G. (2016). Sports-related brain injuries: connecting pathology to diagnosis. Neurosurg Focus *40*, E14.

42. Petermann, F., and Wechsler, D., eds. (2012). Wechsler Adult Intelligence Scale - fourth edition : (WAIS-IV) ; deutschsprachige Adaptation nach David Wechsler (Frankfurt, M.: Pearson).

43. Reitan, R.M. (1958). Validity of the Trail Making Test as an indicator of organic brain damage. Perceptual and Motor Skills *8*, 271-276.

44. Rey, A. (1941). L'examen psychologique dans les cas d'encéphalopathie traumatique. (Les problems.). [The psychological examination in cases of traumatic encepholopathy. Problems.]. Archives de Psychologie *28*, 215-285.

45. Rubin, T.G., Catenaccio, E., Fleysher, R., Hunter, L.E., Lubin, N., Stewart, W.F., Kim, M., Lipton, R.B., and Lipton, M.L. (2018). MRI-defined White Matter Microstructural Alteration Associated with Soccer Heading Is More Extensive in Women than Men. Radiology *289*, 478-486.

46. Schick, D.M., and Meeuwisse, W.H. (2003). Injury rates and profiles in female ice hockey players. Am J Sports Med *31*, 47-52.

47. Schlegel, W., Karger, C.P., and Jäkel, O. (2018). Medizinische Physik (Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum).

48. Shahim, P., Gill, J.M., Blennow, K., and Zetterberg, H. (2020). Fluid Biomarkers for Chronic Traumatic Encephalopathy. Semin Neurol *40*, 411-419.

49. Shahim, P., Tegner, Y., Marklund, N., Blennow, K., and Zetterberg, H. (2018). Neurofilament light and tau as blood biomarkers for sports-related concussion. Neurology *90*, e1780-e1788.

50. Sportbund, D.O. (2019). Bestandserhebung 2019. In Bestandserhebung 2019 (www.dosb.de: Deutscher Olympischer Sportbund e. V.), pp. https://cdn.dosb.de/user_upload/www.dosb.de/medien/BE/BE-Heft_2019.pdf.

51. Stalnacke, B.M., Ohlsson, A., Tegner, Y., and Sojka, P. (2006). Serum concentrations of two biochemical markers of brain tissue damage S-100B and neurone specific enolase are increased in elite female soccer players after a competitive game. Br J Sports Med *40*, 313-316.

52. Stemmler, M., Lehfeld, H., Siebert, J., and Horn, R. (2017). Ein kurzer Leistungstest zur Erfassung von Störungen des Gedächtnisses und der Aufmerksamkeit: SKT Manual Edition 2015—Und der regressionsbasierte Ansatz. [A short performance test for the assessment of impairments in cognitive performance and information processing. SKT Manual Edition 2015—And the continuous norming approach.]. Diagnostica *63*, 243-255.

53. Stern, R.A., Daneshvar, D.H., Baugh, C.M., Seichepine, D.R., Montenigro, P.H., Riley, D.O., Fritts, N.G., Stamm, J.M., Robbins, C.A., McHale, L., Simkin, I., Stein, T.D., Alvarez, V.E., Goldstein, L.E., Budson, A.E., Kowall, N.W., Nowinski, C.J., Cantu, R.C., and McKee A.C. (2013). Clinical presentation of chronic traumatic encephalopathy. Neurology *81*, 1122-1129.

54. Stojsih, S., Boitano, M., Wilhelm, M., and Bir, C. (2010). A prospective study of punch biomechanics and cognitive function for amateur boxers. Br J Sports Med *44*, 725-730.

55. Tierney, R.T., Higgins, M., Caswell, S.V., Brady, J., McHardy, K., Driban, J.B., and Darvish, K. (2008). Sex differences in head acceleration during heading while wearing soccer headgear. J Athl Train *43*, 578-584.

56. Tischler, L.P., F. (2010). Trail Making Test (TMT). ZPPP *58*, 79-81.

57. Vedung, F., Hänni, S., Tegner, Y., Johansson, J., and Marklund, N. (2020). Concussion incidence and recovery in Swedish elite soccer - Prolonged recovery in female players. Scand J Med Sci Sports *30*, 947-957.

58. Wilcox, B.J., Beckwith, J.G., Greenwald, R.M., Chu, J.J., McAllister, T.W., Flashman, L.A., Maerlender, A.C., Duhaime, A.C., and Crisco, J.J. (2014a). Head impact exposure in male and female collegiate ice hockey players. J Biomech *47*, 109-114.

59. Wilcox, B.J., Machan, J.T., Beckwith, J.G., Greenwald, R.M., Burmeister, E., and Crisco, J.J. (2014b). Head-impact mechanisms in men's and women's collegiate ice hockey. J Athl Train *49*, 514-520.

60. Wilde, E.A., Ayoub, K.W., Bigler, E.D., Chu, Z.D., Hunter, J.V., Wu, T.C., McCauley, S.R., and Levin, H.S. (2012). Diffusion tensor imaging in moderate-to-severe pediatric traumatic brain injury: changes within an 18 month post-injury interval. Brain Imaging Behav *6*, 404-416.

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Studienablauf und verwendete Methoden 20
Abbildung 2 Ergebnisse Beck-Depressions-Inventar Qerschnittsvergleich Spielerinnen und Kontrollprobandinnen 36
Abbildung 3 Ergebnisse Beck Depressions Inventar – Mittelwerte der einzelnen Items der Spielerinnen und der Kontrollprobandinnen zum Zeitpunkt T0 (Baseline) im Vergleich 37
Abbildung 4 Ergebnisse Beck Depressions Inventar im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen 38
Abbildung 5 Ergebnisse Beck Depressions Inventar – Mittelwerte der einzelnen Items im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen 39
Abbildung 6 Ergebnisse Apathy Evaluation Scale im Querschnittsvergleich zum Zeitpunkt T0 für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen 41
Abbildung 7 Ergebnisse Apathy Evaluation Score - Mittelwerte der einzelnen Items der Spielerinnen und der Kontrollprobandinnen im Querschnittsvergleich zum Zeitpunkt T0 42
Abbildung 8 Ergebnisse Apathy Evaluation Score im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen 43
Abbildung 9 Ergebnisse Apathy Evaluation Score – Mittelwerte der einzelnen Items im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen 44
Abbildung 10 Ergebnisse European Quality of Life im Querschnittsvergleich zum Zeitpunkt T0 für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen 45
Abbildung 11 Ergebnisse European Quality of Life im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen 46

10 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Anzahl der Kontaktsportler:innen in Deutschland 8
Tabelle 2 Beschreibung der Studienkohorten – soziodemographische Daten..... 30
Tabelle 3 Übersicht über Positionen und Erfahrung der Spielerinnen, sowie erlittene Gehirnerschütterungen 32
Tabelle 4 Ergebnisse Global Physical Activity Questionnaire für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen 33
Tabelle 5 Ergebnisse Querschnittsvergleich Spielerinnen und Kontrollprobandinnen neuropsychologische Testungen – kognitive Veränderungen 34
Tabelle 6 Ergebnisse longitudinaler Verlauf Spielerinnen neuropsychologische Testungen – kognitive Veränderungen 35
Tabelle 7 Ergebnisse Beck-Depressions-Inventar zum Zeitpunkt T0 für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen 36
Tabelle 8 Ergebnisse Beck-Depressions-Inventar im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen 38
Tabelle 9 Ergebnisse Beck Depressions Inventar – Depressionsneigung der Spielerinnen im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 und im Querschnittsvergleich zu den Kontroll-probandinnen bei T0 40
Tabelle 10 Ergebnisse Apathy Evaluation Scale im Querschnittsvergleich zum Zeitpunkt T0 für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen 40
Tabelle 11 Ergebnisse Apathy Evaluation Scale im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen 43
Tabelle 12 Ergebnisse European Quality of Life im Querschnittsvergleich zum Zeitpunkt T0 für Spielerinnen und Kontrollprobandinnen 45
Tabelle 13 Ergebnisse European Quality of Life im longitudinalen Verlauf T0 gegenüber T1 für Spielerinnen 46

11 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Aβ40	Beta-Amyloid 1-40
Aβ42	Beta-Amyloid 1-42
AEs	Athlete-exposures in competition and practice
AES	Apathy Evaluation Scale
BDI	Beck-Depressions-Inventar
BMI	Body Mass Index
CCI	Charlson Komorbiditätsindex
CT	Computertomographie
CRI	Concussion Resolution Index
CRT	Complex reaction time
CTE	Chronisch-traumatische Enzephalopathie
DB	Defensive Back
DBL	Damenbundesliga
DL	Defensive Line
DS	Digit span (Zahlen nachsprechen)
DTI	Diffusionsgewichtete Bildgebung
EQ-5D-5L	European Quality of Life 5 Dimensions 5 Level Questionnaire
FA	Fraktionale Anisotropie
FSB	Farbstrichbenennen (Untertest Stroop)
FWL	Farbwortlesen (Untertest Stroop)
GFAP	Glial fibrillary acidic protein
GFL	German Football League
GPAQ	Global Physical Activity Questionnaire
HBI	Hyperintensity burden index
INT	Interferenzversuch (Untertest Stroop)
IPR	Injury proportion rate
LB	Linebacker
MRT	Magnetresonanztomographie
NCAA	National Collegiate Athletic Association

NfL	Neurofilament-light-Polypeptide
NFL	National Football League
NSE	Neuronen-spezifische Enolase
OL	Offensive Line
phs	player-hours in matches
pT231	Tau-Protein 231
PS	Processing speed
QB	Quaterback
RB	Running Back
RCFT	Rey-Osterrieth Complex Figure Test
RISE	Rugby Injury Survey and Evaluation
RWT	Regensburger Wortflüssigkeitstest
S100B	S100 kalziumbindendes Protein B
SCAT	Sport Concussion Assessment Tool
SIGN	Scottish Intercollegiate Guidelines Network
SKT	Syndrom-Kurz-Test
SRT	Simple reaction time
SWI	Suszeptibilitätsgewichtete MRT-Bildgebung
T	Tesla
T0	Baseline-Testung
T1	Postseason-Testung
TE	Tight End
TMT	Trail Making Test
UFH	Ultrahochfeld
VLMT	Verbaler Lern- und Merkfähigkeitstest
WAIS-IV	Wechsler Adult Intelligence Scale Fourth Edition
WR	Wide Receiver

12 DANKSAGUNG

Vor fünf Jahren habe ich einen Aufruf in unserer Semestergruppe für männliche Probanden zu einer Studie über American Football gesehen. Ich habe daraufhin eine Mail an Prof. Dodel geschrieben, ob er sich die Studie nicht auch mit Spielerinnen vorstellen könnte.
Ich habe weder mit der Begeisterung gerechnet, mit der er dieses Projekt mit mir angehen wollte, noch mit den Steinen, die uns durch die Coronakrise kurze Zeit später in den Weg geworfen wurden.
Umso dankbarer bin ich für die Unterstützung, die Prof. Dodel mir in dieser Zeit mit Gelassenheit und Kritik an den richtigen Stellen entgegengebracht hat.
Bei den Untersuchungen mitgewirkt haben Tobias Blum, Dr. Oliver Kraff, Lars Herzog und PD Dr. Cornelius Deuschl. Für Fragen stand Dr. Christiane Oedekoven jederzeit zur Verfügung. Hierfür möchte ich mich bedanken.
Ebenso möchte ich mich bei meinen Probandinnen bedanken, die ihre Wochenenden geopfert haben, um die Untersuchungen über sich ergehen zu lassen.

Ohne mein Umfeld wäre diese Arbeit jedoch nie möglich gewesen. Der größte Dank geht an meine Frau Lisa, die immer hinter mir steht und mein größter Fan ist. Ebenso danke ich meinen Freund:innen, die jederzeit für mich da sind und mich immer wieder auffangen. Ohne euch wäre die Welt nur halb so schön.

13 LEBENSLAUF

Der Lebenslauf ist in der Online-Version aus Gründen des Datenschutzes nicht enthalten.