

E-pub ahead of print

Diagnostik und Therapie bei Gehirnerschütterung im Sport

Feddermann-Demont N, Palla A, Ettlin T, Johannes S, Tettenborn B, Tarnutzer AA, Wiest D, Sandor PS, Jung HH, Müller A, Straumann D

Richtlinien • doi:10.4414/smf.2020.08563

Accepted 17.06.2020

Veröffentlichung: 15.07.2020

Handlungsempfehlungen der Schweizerischen Neurologischen Gesellschaft (SNG)

Diagnostik und Therapie bei Gehirnerschütterung im Sport

Dr. med. Nina Feddermann-Demont^{a,b}, PD Dr. med. Antonella Palla^b, Prof. Dr. med. Thierry Ettlin^c,
Prof. Dr. med. Sönke Johannes^d, Prof. Dr. med. Barbara Tettenborn^e, PD Dr. med. Alexander A. Tarnutzer^f,
Dr. med. Daniela Wiest^{g,h}, Prof. Dr. med. Peter S. Sandor^{i,j}, Prof. Dr. med. Hans H. Jung^a,
Dr. med. Alfred Müller^{b,k}, Prof. Dr. med. Dominik Straumann^{a,b}

^a Klinik für Neurologie und Klinisches Neurozentrum, Universität Zürich und Universitätsspital Zürich; ^b Swiss Concussion Center, Schulthess Stiftung, Zürich; ^c Reha Rheinfelden; ^d RehaClinic Limmattal und RehaClinic Sonnmatt, Luzern; ^e Klinik für Neurologie, Kantonsspital St. Gallen; ^f Akutneurologie, Kantonsspital Baden; ^g NeuroZentrum Biel-Seeland; ^h Klinik Bethesda, Tschugg; ⁱ Neurologie, RehaClinic Gruppe, Bad Zurzach; ^j Akutnahe Rehabilitation Baden; ^k Schulthess Klinik, Zürich

Die Artikel in der Rubrik «Richtlinien» geben nicht unbedingt die Ansicht der SMF-Redaktion wieder. Die Inhalte unterstehen der redaktionellen Verantwortung der unterzeichnenden Fachgesellschaft bzw. Arbeitsgruppe; in vorliegendem Artikel handelt es sich um die Schweizerische Neurologische Gesellschaft (SNG).

Einleitung

Die Diagnostik und die Behandlung von Gehirnerschütterungen im Sport (engl. «sport-related concussion») haben sich in den letzten Jahren substantiell verändert und verbessert. Dennoch werden die betroffenen Sportlerinnen und Sportler oftmals unzureichend abgeklärt und nicht – oder nur mit der Empfehlung zu körperlicher Ruhe – behandelt [1].

Die Gehirnerschütterung im Sport wird durch direkte oder indirekte Krafteinwirkung (Schlag) gegen den Kopf verursacht [2]. Durch die Krafteinwirkung können das Gehirn, seine umgebenden knöchernen Strukturen, das vestibuläre Labyrinth, das Auge inklusive der Augenmuskeln und das zervikale Rückenmark inklusive umgebender Strukturen betroffen sein. Daher ist neben der Abgrenzung zum moderaten und schweren Schädel-Hirn-Trauma (SHT) die Identifizierung der betroffenen Systeme für das therapeutische Vorgehen von entscheidender Bedeutung.

Der vorliegende Artikel gibt eine Übersicht über diagnostische und therapeutische Handlungsempfehlungen für Neurologinnen und Neurologen. Die Empfehlungen stützen sich auf neueste wissenschaftliche Erkenntnisse zu Kopfverletzungen [3], Gehirnerschütterungen im Sport [2, 4] und leichtem SHT [5, 6]. Die Übersicht berücksichtigt internationale und nationale Leitlinien des britischen «National Institute for Health and Care» (NICE) [3], der «American Academy of Neurology» (AAN) [4], der «American Medical Society for Sports Medicine» (AMSSM) [7], der «Concussion in Sport Group» (CISG) [2, 8–10] und von Sportverbänden (z.B. «World Rugby» [11], «National Football League» [12], «National Hockey League» [13], «English Ice Hockey Federation» [14], «Parachute Canada» [15], «Water Polo Canada» [16]).

Definition und Klassifikation

Die Definition und Klassifikation der Gehirnerschütterung im Sport sind uneinheitlich [17]. In der internationalen Klassifikation von Erkrankungen (ICD-10) wird die Gehirnerschütterung im Sport als eine Form der Gehirnverletzung definiert, die mit einem kurzzeitigen Verlust der normalen Gehirnfunktion als Reaktion auf eine Kopfverletzung einhergeht. Die AMSSM definierte sie als eine «traumatisch induzierte transiente Störung der Gehirnfunktion, die einen komplexen pathophysiologischen Prozess beinhaltet» (Übersetzung der Verfasser) [7]. Als zugrunde liegender pathophysiologischer Vorgang werden Veränderungen auf zellulärer (neuronaler/glialer) Ebene und Funktionsstörungen von neuronalen Netzwerken angenommen [7, 17, 18].

Im Kontext der SHT wird die Gehirnerschütterung im Sport dem leichten SHT zu- beziehungsweise untergeordnet [7, 19]. Die objektive Abgrenzung der Gehirnerschütterung im Sport zum moderaten oder schweren SHT erfolgt durch konventionelle tomographische Bildgebung (Computertomographie [CT], Magnetresonanztomographie [MRT] vom Gehirn), die nach einer Gehirnerschütterung keine strukturellen Schäden zeigen [2, 17]. Durch verbesserte Bildgebungen und Nachbearbeitungsverfahren lassen sich heutzutage auch beim leichten SHT in den ersten Tagen nach Trauma axonale Scherverletzungen nachweisen. Allerdings werden diese Verfahren zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht standardisiert durchgeführt und sind noch Gegenstand von Studien [5, 20].

Anzumerken gilt, dass im angloamerikanischen Raum ein auffälliges MRT mit milden klinischen Auffälligkeiten dem leichten SHT zugeordnet und als «complicated mild traumatic brain injury» benannt werden kann [21].

Symptome

Eine Gehirnerschütterung kann zu vielfältigen Symptomen führen, die nach einigen Minuten, aber auch erst nach Stunden oder Tagen auftreten können. Häufige Symptome sind Konzentrationsstörungen (40–90%) [22], Kopfschmerzen (70–80%) [23], Schwindel und Gleichgewichtsstörungen (37–81%) [24, 25], Nackenschmerzen (20–50%) [24], Sehstörungen (20%) [26], Müdigkeit (20–50%) [24] und autonome Funktionsstörungen (20–60%) [27, 28]. Die Gehirnerschütterung im Sport führt in der Regel zu keiner Bewusstlosigkeit [1, 7].

Die meisten Symptome einer Gehirnerschütterung sind unspezifisch und können auch durch assoziierte Verletzungen benachbarter Strukturen beziehungsweise Systeme verursacht sein (s. Tab. S1 im Appendix des Artikels) [29]. Eine klare Zuordnung aller relevanten posttraumatischen Symptome auf jeweils nur eine Struktur oder ein System ist nicht immer möglich. Eine Zuordnung sollte jedoch – insbesondere bei anhaltenden oder zunehmenden Symptomen oder Befunden – im Rahmen einer sorgfältigen interdisziplinären Diagnostik versucht werden, da die Ergebnisse zu unterschiedlichen therapeutischen Massnahmen führen können und einige Symptome, wie zum Beispiel Kopfschmerzen und Schwindel, als Prädiktoren für eine Persistenz von Symptomen gelten [30–32].

Diagnostik

Die *Erstdiagnostik* nach einer Kopfverletzung im Sport erfolgt in den meisten Fällen durch den/die Team- oder Wettkampfarzt/-ärztin, der/die die Rolle des «Case»-Managers übernimmt. Im Rahmen der Erstdiagnostik muss er/sie den Entscheid treffen, ob (a) unmittelbares Notfallmanagement und Transport zum Krankenhaus erforderlich ist, (b) der Sportler / die Sportlerin aus dem aktuellen Wettkampf/Training genommen werden muss («when in doubt set him/her out») [11] oder (c) der Sportler / die Sportlerin weiter Sport treiben kann. Klinische Expertise im Hinblick auf Differentialdiagnosen von Kopfverletzungen und deren Erstversorgung ist zur Ausübung dieser Rolle essentiell [33].

Bei Vorliegen eines der folgenden Symptome oder Befunde («*red flags*») muss notfallmässig durch den/die Team- oder Wettkampfarzt/-ärztin eine Zuweisung an das nächstliegende Spital erfolgen: jegliche Art der Bewusstlosigkeit, «Glasgow Coma Scale» (GCS) <15, Krampfanfall, anhaltende (anterograde oder retrograde) Amnesie, anhaltende Desorientiertheit/Verwirrtheit, Dysbalance mit Sturztendenz, anhaltender und/oder hochintensiver Kopfschmerz, Erbrechen, vertikale Doppelbilder, Spontannystagmus, Hörminderung/-verlust, Pupillendifferenz, fokale-neurologisches Defizit, Hinweise auf eine Weichteil- beziehungsweise knöcherner Verletzung oberhalb des Clavicula-Niveaus (z.B. Gesichts-/Schädelfraktur oder Halswirbelsäulenverletzung), Antikoagulation [5, 6, 34].

Das *Notfallmanagement* nach Kopfverletzungen muss klaren Prinzipien und standardisierten Massnahmen folgen, wie zum Beispiel dem «Advanced Trauma Life Support» (ATLS) oder wie in den Europäischen Trauma-Kursen beschrieben [3]. Ebenfalls sollte die Indikation für weitere Notfall-Diagnostik, insbesondere CT-Bildgebung, anhand standardisierter Entscheidungsregeln erfolgen (abgebildet z.B. durch NICE [3] / CHIP-Regel [35] / LTHV-Dokumentationsbogen Erstversorgung¹ [35–37]).

Bewusstlosigkeit jeglicher Dauer oder ein GCS unter 15 können auf eine schwerere Gehirnerschütterung beziehungsweise ein moderates oder schweres SHT hindeuten. Das bedeutet, dass der betroffene Sportler / die betroffene Sportlerin das Training, den Wettkampf oder das Spiel abbrechen muss und nicht am selben Tag wiederaufnehmen darf [2].

Da Symptome oder Befunde auch verzögert auftreten können, sollten alle Sportlerinnen und Sportler nach einer Kopfverletzung 24 Stunden von einer zuverlässigen Person (z.B. auch aus dem Familien-/Bekanntkreis) im Hinblick auf eine klinische Verschlechterung oder das Neuaufreten von Symptomen/Befunden engmaschig *beobachtet* werden [2].

Innerhalb von drei Tagen sollte der/die Team- oder Wettkampfarzt/-ärztin den betroffenen Sportler / die betroffene Sportlerin *erneut untersuchen*, um den Verlauf beurteilen und um gegebenenfalls weitere Massnahmen einleiten zu können. Bei Vorliegen einer der in der Tabelle S1 (s. Appendix des Artikels)

¹ Die aufgeführten Entscheidungsregeln bzw. Dokumentationsbögen gehen davon aus, dass der Erstuntersucher in der Lage ist, fokalneurologische Defizite (z.B. Schwindel-Syndrome und zentrale Okulomotorikstörungen) zu erkennen.

gestellten Symptome oder Befunde sollte eine *klinische Triage-Untersuchung* durch einen/eine in der Diagnostik von Gehirnerschütterung erfahrene/n neurologische/n Facharzt/-ärztin oder einen/eine in der neurologischen Untersuchung/Beurteilung erfahrene/n Arzt/Ärztin erfolgen. Wenn keine dieser Symptome oder Befunde vorliegen, soll eine kontrollierte stufenweise Wiederaufnahme von Sport, Schule und Beruf eingeleitet werden. Dieses strukturierte Vorgehen gilt auch bei Sportlerinnen und Sportlern, die ein unbeobachtetes Kopf-Trauma erlitten haben und sich erst mit Latenz bei ihrem Team-, Haus- oder Vertrauensarzt vorstellen.

Mithilfe einer gründlichen *klinisch-neurologischen Untersuchung* kann der Neurologe / die Neurologin eine klare Differentialdiagnose als Folge der Kopfverletzung stellen und individuell fokussierte Zusatzuntersuchungen zur Abklärung der Ursachen und Lokalisationen der bestehenden Symptome veranlassen. Diese Methode der klinisch gelenkten Untersuchung ist nicht nur kosteneffizient, sondern reduziert auch die Wahrscheinlichkeit falsch positiver Ergebnisse [33].

Wenn kombinierte Symptome, zum Beispiel Kopfschmerz, Gedächtnisstörungen, Schwindel, Hörstörungen und Sehstörungen, auftreten, ist eine *Abklärung durch ein auf Gehirnerschütterungen spezialisiertes, multidisziplinäres medizinisches Team* empfohlen [33]. Während dieser Untersuchung wird festgelegt, ob (a) zugewartet werden kann, (b) Zusatzuntersuchungen indiziert sind oder (c) frührehabilitative Massnahmen eingeleitet werden sollten. Im Entscheidungsprozess gilt zu beachten, dass «Zuwarten» ein aktives Beobachten (sog. «active surveillance») beinhaltet, da – wie bereits erwähnt – die Gehirnerschütterung ein dynamischer Prozess ist, dessen Symptome sich im Verlauf neu entwickeln oder verändern können.

Zusatzuntersuchungen durch Fachspezialistinnen und Fachspezialisten dienen der adäquaten diagnostischen Einordnung von Kopfschmerzen [38], Müdigkeit [25], vestibulären, visuellen, auditiven, kognitiven, emotionalen oder zervikogenen Symptomen und Befunden (s. Tab. S2 im Appendix des Artikels) [1, 7, 24, 32].

Anhand des Leitsymptoms *Schwindel*, der nach Kopfschmerzen am häufigsten nach einem Kopftrauma auftritt [24, 25] soll *beispielhaft* das diagnostische Vorgehen beschrieben werden. Schwindel oder Benommenheit nach einem Kopftrauma kann sowohl vestibulären als auch anderen Ursprungs sein, da die Kontrolle von Körper- und Blickstabilität auf einer multisensorischen Integration von vestibulären, visuellen, propriozeptiven und weiteren Signalen beruht. Die Identifizierung des genauen Pathomechanismus ist komplex, aber unerlässlich für die korrekte Therapieplanung.

Sportlerinnen und Sportler mit persistierendem Schwindel oder Benommenheitsgefühl nach einer Kopfverletzung leiden oft an einer kombinierten peripheren und zentralen Funktionsstörung. Als Folge können zentrale Mechanismen der Kompensation von peripher-vestibulären Defiziten beeinträchtigt sein [39]. Häufige Befunde bei Sportlerinnen und Sportlern mit anhaltenden Symptomen nach einer Gehirnerschütterung sind visuell induzierter Schwindel und visuelle Dominanz der Gleichgewichtskontrolle, die sich beide als Folge einer unbewussten vestibulären Vermeidungsstrategie entwickeln.

Apparativ gestützte (elektrophysiologische) Untersuchungen können den differentialdiagnostischen Prozess im Hinblick auf die Auswahl therapeutischer Optionen wesentlich verbessern. Bei anhaltendem Schwindel oder verschwommenem Sehen / Nebensehen sind neben den bekannten klinischen Basisuntersuchungen (Spontannystagmus/Blickrichtungsnystagmus, horizontaler Kopf-Impuls-Test, Testung der vertikalen Divergenz («test of skew»), Romberg-Test, Provokationsmanöver zur Identifikation von Lagerungsschwindel/-nystagmus) zusätzliche vestibuläre Tests unerlässlich. Ziel dieser Untersuchungen ist es, peripher-vestibuläre Defizite zu identifizieren oder auszuschliessen. Die apparativ-gestützte vestibuläre Untersuchung besteht typischerweise aus: Video-Kopf-Impuls-Test aller

Bogengänge (V-KIT), dynamische Sehschärfe (DVA) oder funktioneller Kopf-Impuls-Test (f-KIT), zervikale und okuläre vestibulär evozierte myogene Potenziale (cVEMP, oVEMP), subjektive visuelle Vertikale (SVV), Fundusfotografie, kalorische Tests, okulomotorische Tests (Sakkaden, Blickfolge, optokinetischer Nystagmus, Erfassung von Spontan-, Blickrichtungs-, Positions-, Kopfschüttel- und Vibrationsnystagmus).

Symptombasierte Differentialdiagnose

Einige posttraumatische Symptome oder Befunde sind spezifisch für eine Beeinträchtigung des zentralen Nervensystems, wie zum Beispiel Gedächtnisstörungen, Verwirrtheit oder vertikaler Nystagmus, und deuten auf eine Gehirnerschütterung oder auf eine schwerere Form des SHT hin [2, 17, 24].

Im Folgenden werden die wichtigsten Differentialdiagnosen innerhalb der verschiedenen Systeme beschrieben.

Schmerz

Die Ursachen von Kopfschmerzen können vielfältige sein, zum Beispiel zerebral (wie Migräne oder Spannungstyp), zervikal (biomechanisch, myofaszial oder neural/nerval [24, 40]), temporomandibulär [24], und sollten nach internationalen Kriterien diagnostiziert werden [38]. Bei einem posttraumatischen Kopfschmerz ist ein unmittelbarer Zusammenhang mit dem Trauma anzunehmen.

Retroorbitale Schmerzen können durch eine okuläre Verletzung, eine Funktionsstörung der oberen Halswirbelsäule («referred pain») oder des temporomandibulären Gelenks verursacht werden. Bei der Frage nach Vorliegen einer Funktionsstörung der oberen Halswirbelsäule sollte eine neuromuskuloskelettale Untersuchung erfolgen [24].

Migräne-Kopfschmerzen gehen nicht selten mit Nausea einher. Diese kann aber unabhängig davon durch eine Gleichgewichtsstörung [41] verursacht sein. Durch ein Kopftrauma kann es zu einer Aktivierung einer vorbestehenden Migräne kommen. Wesentlich ist es, eine Kopfschmerzchronifizierung durch den Übergebrauch akut wirksamer Schmerzmittel zu erkennen [38].

Vestibuläre Symptome

Schwindel oder Gleichgewichtsstörungen können durch eine peripher-vestibuläre Störung (Labyrinth, vestibulärer Nerv), durch eine zentrale vestibuläre Schädigung im Rahmen der Gehirnerschütterung [24, 41–43] oder durch andere Beeinträchtigungen (wie eine autonome Dysregulation, Dehydrierung, zervikale Funktionsstörungen [44] etc.) verursacht werden. Wenn Gleichgewichtsstörungen vorherrschen, sind weitere Untersuchungen der posturalen Kontrolle, des Gehens und der unteren Extremitäten indiziert, um eine zusätzliche vestibulospinale oder somatosensorische Beteiligung sowie eine begleitende Verletzung der Beine nicht zu übersehen [24].

Der kurzzeitige (weniger als einer Minute andauernde) positionsabhängige Drehschwindel ist spezifisch für den benignen paroxysmalen Lagerungsschwindel (BPLS), der posttraumatisch durch abgesprengte Otolithen in den vestibulären Bogengängen (Canalo- oder Cupulolithiasis) verursacht werden kann. Der BPLS kann mit Provokationsmanövern (Hallpike-Manöver für die posterioren oder anterioren Bogengänge, Supine-Roll-Manöver für die horizontalen Bogengänge) unter Beobachtung des positionsabhängigen Nystagmus, am besten unter der Frenzelbrille oder mit Videookulographie, diagnostiziert werden. Die betroffenen Bogengänge können durch entsprechende Befreiungsmanöver leicht von den Konkrementen befreit werden (z.B. Epley-Manöver für die posteriore Canalolithiasis, Gufoni-Manöver für die horizontale Canalolithiasis oder Cupulolithiasis, Yacovino-Manöver für die anteriore Canalolithiasis).

Sich fühlen «wie in einem Lift» kann ein Hinweis auf eine Funktionsstörung der Otolithenorgane sein [45].

Visuelle Symptome

Beschreibt ein Sportler / eine Sportlerin bei schnellen Kopfbewegungen Symptome wie «meine Augen können nicht folgen / sind verlangsamt» oder «verschwommenes Sehen» muss von einer Beeinträchtigung der Blickstabilisierung durch den vestibulookulären Reflex oder der Verarbeitung visueller (optokinetischer) Informationen ausgegangen werden [24]. Ursachen können durch den Video-Kopf-Impulstest [46] und durch die Testung der dynamischen Sehschärfe identifiziert werden [47].

Photophobie oder Lichtempfindlichkeit können durch Störungen innerhalb des Auges (d.h. Pupille, Retina) oder entlang der neurovisuellen Bahnen oder im Rahmen posttraumatischer migräniformer Kopfschmerzen entstehen [48]. «Mouches volantes»-ähnliche Symptome können durch eine okuläre Pathologie, eine gesteigerte Wahrnehmung der physiologischen Glaskörpertrübung oder eine gesteigerte Sensibilität der visuellen Bahnen und des Kortex bedingt sein [49].

Hörsymptome

Lärmempfindlichkeit oder Tinnitus können durch eine Funktionsstörung der Cochlea, bedingt durch eine Commotio oder Contusio cochleae, oder der neuroauditiven Bahnen verursacht werden. Bei Tinnitus ist als Differentialdiagnose die Assoziation zu Funktionsstörungen der Halswirbelsäule und des temporomandibulären Gelenks zu berücksichtigen [50–53].

Symptome des autonomen Nervensystems

Veränderungen in der Herzfrequenz [54] in Ruhe oder während kognitiver [55] oder körperlicher Aktivität [56], Palpitationen, Hyper-/Hypohidrose oder ein vermehrtes «Hitzegefühl» können auf eine autonome zerebrovaskuläre Dysregulation hinweisen. Andere Ursachen, wie das Vorliegen eines bakteriellen oder viralen Infektes, Elektrolyt- oder hormonelle Störungen beziehungsweise vorbestehende Stimmungsstörungen wie Angst oder Depression, sollten vor allem bei anhaltenden Beschwerden differentialdiagnostisch gesucht werden.

Neurokognitive Symptome

Konzentrations- und mnestiche Beeinträchtigungen können durch die Gehirnerschütterung selbst verursacht oder Folge anderer Störungen sein. Schwindel zum Beispiel korreliert mit neurokognitiven Beeinträchtigungen und wird als Prädiktor für eine längere Regenerationszeit [57] nach einer Gehirnerschütterung betrachtet. Ebenso wirken sich Schlafstörungen negativ auf die Kognition aus [58].

Affektive/emotionale Symptome

Posttraumatische affektive Symptome sind von vorbestehenden Stimmungsstörungen wie Depression und Angst zu differenzieren [24, 59].

Motorische Symptome

Die anfängliche Unfähigkeit, die Extremitäten zu bewegen, als Ausdruck transienter Lähmungen an zwei oder allen vier Extremitäten können ein Hinweis auf eine spinale Beteiligung (Differentialdiagnose Commotio oder Contusio spinalis) sein. Ein MRT sollte mit der Frage nach spinaler Verletzung eingeleitet werden [60].

Therapie

Eine fundierte Diagnostik bildet die Grundlage für die Empfehlung von adäquaten und aufeinander abgestimmten therapeutischen und rehabilitativen Massnahmen und zur Planung der stufenweisen Rückkehr zum Sport, zur Schule oder zur Arbeit. Es ist empfehlenswert, die Therapie und die Wiederaufnahme der körperlichen und kognitiven Aktivitäten (Sport, Schule und Arbeit) parallel einzuleiten.

Das therapeutische und rehabilitative Vorgehen hat sich in den letzten Jahren substantiell verändert. Während bis ca. 2016 «Ruhe bis Symptomregredienz» verordnet wurde, folgt seit einigen Jahren einer initialen kognitiven und körperlichen Ruhephase (24–48 Stunden) eine kontrollierte Steigerung der körperlichen und kognitiven Aktivität [2, 61]. Hierbei erlangt zunehmend ein symptom-basiertes Training im aeroben Bereich eine signifikante Rolle [62].

Der therapeutische Ansatz richtet sich nach den im Vordergrund stehenden Symptomen und Befunden und deren Interpretation. Hierbei sollten für die einzelnen Bereiche standardisierte Methoden und Techniken angewandt werden, die den Leitlinien der jeweiligen Fachgesellschaften zu entnehmen sind. Wichtig dabei ist, jedes verordnete Medikament mit dem Antidoping-Reglement (www.antidoping.ch) abzugleichen.

Beim posttraumatischen *Kopfschmerz* orientiert sich die Therapie an den Leitlinien des phänotypisch korrespondierenden primären oder sekundären Kopfschmerztyps [23, 32]. Kopfschmerzen durch Medikamentenübergebrauch sollten erkannt und adäquat behandelt werden [63].

Bei der Therapie des *Schwindels* ist zu berücksichtigen, dass – insbesondere bei anhaltenden Symptomen – den vestibulären Symptomen oft eine Kombination von peripheren und zentralen Funktionsstörungen zugrunde liegt [39]. Generell führen Störungen der sensorischen Signale immer zu einer veränderten Funktion der Motorik, was im therapeutischen Vorgehen berücksichtigt werden muss. Konsequenterweise besteht die Frührehabilitation nach Gehirnerschütterung regelmässig aus parallel ablaufenden Therapieprogrammen. Bei Schwindel und Gleichgewichtsstörungen sind es zum Beispiel Canalolith-Befreiungsmanöver und neurorehabilitative Massnahmen zur Verbesserung der Kontrolle des Körperschwerpunkts, der posturalen Stabilität, der Blickstabilität bei aktiven Kopfbewegungen (vestibulo- okulärer Reflex), zur Desensibilisierung bei gesteigerter visueller (optokinetischer) Sensibilität oder zur Förderung der vestibulären Verarbeitung bei visueller Dominanz mit vestibulärem Vermeidungsverhalten.

Eine *Kombination aktiver und passiver Massnahmen* ist oftmals sinnvoll. Möglichst rasch sollen Komponenten der Therapie als Heimprogramm durchgeführt werden können. Verhaltenstherapeutische Massnahmen können im Hinblick auf Symptomverarbeitung, Tagesstruktur, Schlafverhalten oder zum Erlernen von Entspannungstechniken hilfreich sein.

Da gerade bei der Gehirnerschütterung in der Regel mehrere unterschiedliche, sich gegenseitig beeinflussende sensorische und motorische Systeme betroffen sind, ist ein durch ein erfahrenes interdisziplinäres Team zusammengestelltes, aufeinander abgestimmtes, *multimodales Therapieprogramm* für die schnelle Rückkehr zum Sport, zur Schule und zur Arbeit essentiell. Nur so können Therapie-Interaktionen adäquat berücksichtigt und bestehende standardisierte Programme in die Therapieplanung integriert werden.

Rückkehr zum Sport, zur Schule und zur Arbeit

Seit ca. 2017 wird nach einer initialen Ruhephase von 24 bis 48 Stunden eine kontrollierte, stufenweise und symptomlimitierte Wiederaufnahme von Sport, Arbeit und Schule empfohlen [2, 7, 19, 61]. Ein systematisches Vorgehen ist im «Sport Concussion Assessment Tool» (SCAT5©) dargestellt [64], auf Deutsch zu finden unter <https://swissconcussion.com/downloads/>.

Verlauf und Prognose

Der Verlauf einer Gehirnerschütterung im Sport wird in der Literatur mit spontanem Rückgang der Symptome in 75–90% der Fälle innerhalb von zehn bis 14 Tagen als generell günstig bezeichnet [65, 66]. Bei diesen Angaben sollte jedoch berücksichtigt werden, dass sie auf Studien beruhen, die überwiegend

bei American-Football-Spielern durchgeführt wurden und daher wahrscheinlich nicht für alle Patientengruppen zutreffend sind. Zudem wurde in einem Grossteil der Studien der Symptomrückgang unter reduzierter körperlicher Belastung (Stufe 1–2 des Return-to-Sports-Programmes) beurteilt. Kinder, Adoleszente und Sportlerinnen haben einen längeren Verlauf [67].

Wichtigste Punkte zur Gehirnerschütterung im Sport

- Die Gehirnerschütterung im Sport wird zu den leichten Formen des Schädel-Hirn-Traumas (SHT) gezählt. Im Gegensatz zum moderaten oder schweren SHT sind strukturelle Veränderungen in konventionell tomographischen Verfahren des Gehirns (Computertomographie, Magnetresonanztomographie) in der Regel nicht nachweisbar.
- Die Diagnose der Gehirnerschütterung wird klinisch gestellt und sollte auf der Anamnese sowie neurologischen, neuropsychologischen, neurovestibulären, auditiven, ophthalmologischen und neuromuskuloskelettalen Untersuchungen basieren. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bilden die Grundlage für das weitere diagnostische und therapeutische Vorgehen.
- Die Symptome nach einer Gehirnerschütterung sind vielfältig und gehören überwiegend zum Formenkreis der neurologischen Erkrankungen (u.a. Kopfschmerzen, Schwindel, Gleichgewichtsstörungen, Lichtempfindlichkeit, Lärmempfindlichkeit, Müdigkeit, Gedächtnisstörungen). In den meisten Fällen kommt es zu keiner Bewusstlosigkeit.
- Die Erstbeurteilung nach einer Kopfverletzung im Sport erfolgt in den meisten Fällen durch den/die Team- oder Wettkampfarzt/-ärztin, der/die die Rolle des «Case»-Managers übernimmt. Zur Ausübung dieser Rolle ist klinische Expertise im Hinblick auf Differentialdiagnosen und deren Erstversorgung notwendig.
- Bei initial bestehenden Symptomen/Befunden wie Bewusstlosigkeit, Bewusstseinsstörung, Amnesie oder Desorientierung oder bei anhaltenden zerebralen, zervikogenen, vestibulären, cochleären, ophthalmologischen Symptomen sollte innerhalb von drei Tagen eine klinische Erstuntersuchung durch einen/eine mit SHT erfahrene/n neurologische/n Facharzt/-ärztin erfolgen. Während der Triage-Untersuchung wird festgelegt, ob (a) der Verlauf beobachtet werden kann, (b) Zusatzuntersuchungen indiziert sind oder (c) frührehabilitative Massnahmen eingeleitet werden sollten.
- Apparative neurophysiologische und neuroradiologische Untersuchungen sind für die Indikation multimodaler und aufeinander abgestimmter Therapien in Abhängigkeit der initialen Symptome und Befunde beziehungsweise bei Symptompersistenz oder bei Vorliegen gewisser Risikofaktoren zu Beginn und im Verlauf notwendig.
- Die angewandten Therapien richten sich nach den aktuellen Leitlinien der Fachgesellschaften. Bei vielfältigen Symptomen ist ein multimodaler Ansatz durch ein interdisziplinäres Team erforderlich.

Disclosure statement

Die Autoren haben keine finanziellen oder persönlichen Verbindungen im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

Korrespondenz:

*Dr. med. Nina Feddermann-Demont
Klinik für Neurologie und Klinisches Neurozentrum
Universität und Universitätsspital Zürich
Frauenklinikstrasse 26
CH-8091 Zürich
Nina.Feddermann[at]usz.ch*

Appendix

Tabellen S1 und S2 siehe auf Seiten 10 –12.

Literatur

Ab Seite 13.

Appendix

Tabelle S1: Potentiell beteiligte anatomische Regionen bei Symptomen und Befunden nach Kopfverletzung.

Bereich	Symptome und Befunde	Beteiligte anatomische Region				
		zerebral	zervikal	vestibulär	cochlear	ophthalmologisch
Wachheit/ Aufmerksamkeit	Schwierigkeit, sich zu konzentrieren	✓	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
	Schwierigkeit, sich zu erinnern	✓	-	-	-	-
	Gefühl, «verlangsamt/langsam zu sein»	✓	-	-	-	-
	Verzögerte, langsame oder unangemessene Antworten	✓	-	-	-	-
Bewusstsein	Verwirrtheit	✓	-	-	-	-
	Desorientierung	✓	-	-	-	-
	Gefühl «etwas stimmt nicht mit mir»	✓	(✓)	✓	(✓)	(✓)
	Benommenheit	✓	(✓)	✓	-	(✓)
Schlaf	Müdigkeit, Abgeschlagenheit, wenig Energie	✓	(✓)	(✓)	-	(✓)
	Veränderungen des Schlafs oder Schlafverhaltens	✓	(✓)	(✓)	(✓)	-
Schwindel/ Gleichgewicht	Spontannystagmus, Lagenystagmus	✓	-	✓	-	-
	Gleichgewichtsprobleme, Stand-, Gangunsicherheit, Schwanken	✓	(✓)	✓	-	-
	Schwindel	✓	(✓)	✓	-	(✓)
	Gefühl, «wie im Nebel / benebelt zu sein»	✓	✓	✓	-	(✓)
Emotionen	Ängstlichkeit, Irritierbarkeit, Nervosität	✓	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
	Depressive Gedanken	✓	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
Kopfschmerz	Belastungs- (körperliche Anstrengung), bewegungs-, lageabhängig	✓	✓	-	-	-
	Kraniozervikal	✓	✓	-	-	-
	Retroorbital	✓	✓	-	-	✓
Sehen	Verschwommenes Sehen	✓	(✓)	(✓)	-	✓
	Doppelbilder	✓	-	✓	-	✓
	Einseitige Sehprobleme	✓	-	-	-	✓
	Lichtempfindlichkeit, Photophobie	✓	-	-	-	✓
Hören	Phonophobie, Lärmempfindlichkeit, Tinnitus	✓	(✓)	-	✓	-

✓ = wahrscheinlich, (✓) = möglich, - = nicht möglich

Anmerkung: Viele Symptome sind unspezifisch und können auch andere Ursachen haben.

Tabelle S2: Symptombezogene Diagnostik nach einer Gehirnerschütterung im Hinblick auf potentiell beteiligte neuroanatomische Regionen

	Häufige Symptome	Fokus der ärztlichen Untersuchung	Auffällige klinische Befunde	Mögliche neuroanatomische / -funktionelle Störungen	Auswahl an indizierten Zusatzuntersuchungen	
Somatische Domäne	Schmerz	<ul style="list-style-type: none"> ● Kopfschmerz: <ul style="list-style-type: none"> ○ lageabhängig ○ anstrengungsabhängig ○ pulsierend vs. drückend ○ frontal betont ○ retroorbital betont ○ okzipital betont 	<ul style="list-style-type: none"> ● Medikamentenanamnese ● Neuartig vs. fortbestehend ● Kraniomandibulär ● Neuroorthopädisch (HWS/BWS) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Erhöhte perikranielle Schmerzempfindlichkeit ● Drucksensitive Nervenaustrittspunkte supra-, infraorbital, mental, okzipital ● Druckdolenz/Triggerpunkte zervikal (vertebrogen, spondylogen, neurogen, myofaszial) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Posttraumatisch <ul style="list-style-type: none"> ○ migräniform ○ Spannungstyp ○ zervikogen ● Schmerzmittel-Übergebrauch: <ul style="list-style-type: none"> ○ anstrengungsinduziert ○ vorbestehend exazerbiert 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sportphysiotherapeutisch <ul style="list-style-type: none"> ○ kraniomandibuläre Funktion ○ HWS-/BWS-Funktionstand ● Standardisierte Fragebögen (z.B. HIT-6, MIDAS) ● Bildgebung (z.B. Rx, MRT, CT)
	Schmerz	<ul style="list-style-type: none"> ● Nackenschmerz: <ul style="list-style-type: none"> ○ halbseitig ohne Seitenwechsel ○ ausstrahlend in den Hinterkopf ○ ausstrahlend in den Arm 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kraniomandibulär ● Neuroorthopädisch (HWS/BWS) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Eingeschränktes HWS/BWS-Bewegungsausmass (aktiv und passiv) ● HWS-/BWS-Provokationsmanöver ● Druckdolenz/Triggerpunkte zervikal (vertebrogen, spondylogen, neurogen, myofaszial) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Zervikozephal ● Zervikothorakal 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sportphysiotherapeutisch <ul style="list-style-type: none"> ○ kraniomandibuläre Funktion ○ HWS-/BWS-Funktion ● Standardisierte Fragebögen (z.B. NDI) ● Bildgebung (z.B. Rx, MRT, CT)
	Vestibulär	<ul style="list-style-type: none"> ● Schwindel <ul style="list-style-type: none"> ○ Drehschwindel ○ Liftschwindel ○ Schwankschwindel ● Nausea ● Oszillopsien ● Balancestörung ● «Benommenheits-Gefühl» ● Gefühl, «nicht präsent zu sein» 	<ul style="list-style-type: none"> ● Neurootologisch ● Neuroorthopädisch (HWS/BWS) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Nystagmus <ul style="list-style-type: none"> ○ Spontanystagmus ○ Lagenystagmus ○ Lagerungsnystagmus ○ Kopfschüttelnystagmus ○ Blickrichtungsnystagmus ● Kopfpulstest mit Einstellsakkade ● Optokinetischer Nystagmuszerfall ● Fehlende visuelle VOR-Suppression ● Optokinetische (visuelle) Reizüberempfindlichkeit ● Balancestörung 	<ul style="list-style-type: none"> ● Peripher-vestibulär <ul style="list-style-type: none"> ○ Labyrinth ○ Labyrinth/Hirnstamm bis N. VIII ● Zentral-vestibulär <ul style="list-style-type: none"> ○ pontomedullär/zerebellär (vestibulo-okulomotorische Bahnen) ○ multisensorisch integrativ (vestibulär, visuell, somatosensorisch) ○ thalamisch/kortikal (vestibulo-thalamo-kortikale Bahnen) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sportphysiotherapeutisch <ul style="list-style-type: none"> ○ Balance ○ Vestibulo-Okulomotorik (z.B. VOMS) ○ muskuloskelettal ● Vestibulär und okulomotorisch (apparativ gestützt: Video-KIT, oVEMP, cVEMP, SVV, Fundusfotografie, Kalorik, DVA, VOG) ● Apparativ gestützte dynamische Posturographie ● Optokinetisch-postural <ul style="list-style-type: none"> ○ standardisierte Fragebögen (z.B. SVQ, VVAS) ○ apparativ gestützt (z.B. SVV)
Visuell	<ul style="list-style-type: none"> ● Doppelsehen ● Fokussierungsprobleme ● Photophobie ● Verschwommenes Sehen 	<ul style="list-style-type: none"> ● Neuroophthalmologisch 	<ul style="list-style-type: none"> ● Augenmuskelparesen ● Akkomodationsinsuffizienz ● Konvergenzinsuffizienz ● Sakkaden <ul style="list-style-type: none"> ○ Verlangsamung ○ Dysmetrie ○ Latenzverlängerung ● Sakkadierte Folgebewegungen 	<ul style="list-style-type: none"> ● Peripher okulomotorisch <ul style="list-style-type: none"> ○ Augenmuskel ○ Hirnstamm bis N. III, IV, VI ● Zentral okulomotorisch <ul style="list-style-type: none"> ○ Hirnstamm ○ zerebellär ○ supranukleäre Kerngebiete bis kortikal 	<ul style="list-style-type: none"> ● Vestibulo-Okulomotorik (z.B. VOMS) ● Neuroophthalmologisch (apparativ gestützt: Hess-Schirm, Visus-Prüfung) ● Optokinetisch-postural <ul style="list-style-type: none"> ○ standardisierte Fragebögen (z.B. SVQ, VVAS) ○ apparativ gestützt (z.B. SVV) 	

	Häufige Symptome	Fokus der ärztlichen Untersuchung	Auffällige klinische Befunde	Mögliche neuroanatomische / -funktionelle Störungen	Auswahl an indizierten Zusatzuntersuchungen	
Somatische Domäne	Auditiv	<ul style="list-style-type: none"> • Hörminderung • Phonophobie • Tinnitus 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuroauditiv (inkl. Gehörganginspektion) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hörstörung <ul style="list-style-type: none"> ○ Hyperakusis ○ Hypoakusis 	<ul style="list-style-type: none"> • Peripher-cochleär Cochlea/Hirnstamm bis N. VIII • Zentral-cochleär • Hirnstamm/kortikal 	<ul style="list-style-type: none"> • Reintonaudiogramm • Standardisierte Fragebögen (z.B. THI)
	ANS	<ul style="list-style-type: none"> • Symptomprovokation bei <ul style="list-style-type: none"> ○ körperlicher Belastung ○ Lagewechsel 	<ul style="list-style-type: none"> • Internistisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Schellong-Test mit orthostatischer Dysregulation, Hypotonie, Schwindel • Vermehrtes/vermindertes Schwitzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dysregulation des ANSs 	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrradergometrischer Belastungstest • Schellong-Test • Herzfrequenz-Variabilitäts-Testung
Kognitive Domäne	<ul style="list-style-type: none"> • Störung von <ul style="list-style-type: none"> ○ Konzentration ○ Aufmerksamkeit • Vergesslichkeit • «Verlangsamtes Denken» • Desorientierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuropsychologisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Störung von <ul style="list-style-type: none"> ○ Orientierung ○ Gedächtnis ○ Aufmerksamkeit ○ psychomotorischer Verarbeitungsgeschwindigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Betroffene Kern-Domänen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Aufmerksamkeit ○ Arbeitsgedächtnis ○ exekutive Funktionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Computergestützte neurokognitive Tests (z.B. CNS Vital Signs, ImPACT, CANTAB) • Paper-Pen Tests unter neuropsycholog. Anleitung 	
Affektive / emotionale Domäne	<ul style="list-style-type: none"> • Träge, gleichgültig • Emotional, erschöpft • Nervös, reizbar, ablenkbar • Traurig, zurückgezogen, demotiviert • Ängstlich, schreckhaft, beunruhigt 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuromental/psychiatrisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Affekt-, Antriebsminderung • Teilnahmslosigkeit • Emotionale Abflachung • Allgemeiner Erschöpfungszustand • Angstsymptomatik (inkl. Albträume) • Depressive Stimmung • Schreckhaftigkeit • Erhöhte Wachsamkeit / Selbstbeobachtung 		<ul style="list-style-type: none"> • Standardisierte Fragebögen (z.B. GAD, HADS, CES-D, SF-36) 	
Schlaf	<ul style="list-style-type: none"> • Einschlaf-, Durchschlafstörung • Gesteigertes Schlafbedürfnis • Vermindertes Schlafbedürfnis • Tagesschläfrigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • ORL / internistisch (u.a. Racheninspektion) 	<ul style="list-style-type: none"> • Schläfrigkeit 		<ul style="list-style-type: none"> • Standardisierte Fragebögen (z.B. ESS, FSS) 	

Abkürzungen: **ANS:** Autonomes Nervensystem; **BWS:** Brustwirbelsäule; **CES-D:** Center for Epidemiological Studies -Depression Scale; **cVEMP:** cervikale Vestibulär Evozierte Myogene Potentiale; **CT:** Computertomographie; **DVA:** dynamische Sehschärfe (engl. «dynamic visual acuity»); **ESS:** Epworth Sleepiness Scale; **FSS:** Fatigue Severity Scale; **GAD:** Generalized Anxiety Disorder; **HADS:** Hospital Anxiety and Depression Scale; **HIT-6:** Headache Impact Test-6; **HWS:** Halswirbelsäule; **KIT:** Kopf-Impuls-Test; **MIDAS:** Migraine Disability Assessment Scale; **MRT:** Magnetresonanztomographie; **NDI:** Neck Disability Index; **ORL:** Oto-Rhino-Laryngologie; **oVEMP:** okuläre Vestibulär Evozierte Myogene Potentiale; **Rx:** Röntgen; **SF-36:** Short Form-36 Gesundheits-Fragebogen; **SOT:** Sensorischer Organisationstest (engl. «Sensory Organisation Test»); **SVV:** Subjektive Visuelle Vertikale; **SVQ:** Situational Vertigo Questionnaire; **THI:** Tinnitus Handicap Inventory; **VOG:** Vestibulookulographie; **VOMS:** Vestibular/Ocular-Motor Screening; **VOR:** Vestibulo-Okulärer Reflex; **VAS:** Visual Vertigo Analogue Scale.

Literatur

1. Bazarian JJ, Raukar N, Devera G, Ellis J, Feden J, Gemme SR, et al. Recommendations for the Emergency Department Prevention of Sport-Related Concussion. *Ann Emerg Med.* 2020;75(4):471–82.
2. McCrory P, Meeuwisse W, Dvorak J, Aubry M, Bailes J, Broglio S, et al. Consensus statement on concussion in sport—the 5(th) international conference on concussion in sport held in Berlin, October 2016. *Br J Sports Med.* 2017;51(11):838–47.
3. Excellence, N.I.f.H.a.C. Head injury: assessment and early management. 2014; Available from: <https://www.nice.org.uk/guidance/cg176/resources/head-injury-assessment-and-early-management-pdf-35109755595493>.
4. American Academy of Neurology Quality Standards Subcommittee Minneapolis M. N. U. S. Summary of Evidence-based Guideline Update: Evaluation and Management of Concussion in Sports. 2013; Available from: www.aan.com/Guidelines/home/GuidelineDetail/582.
5. Levin HS, Diaz-Arrastia RR. Diagnosis, prognosis, and clinical management of mild traumatic brain injury. *Lancet Neurol.* 2015;14(5):506–17.
6. Vos PE, Alekseenko Y, Battistin Y, Ehler E, Gerstenbrand F, Muresanu DF, et al. Mild traumatic brain injury. *Eur J Neurol.* 2012;19(2):191–8.
7. Harmon KG, Clugston JR, Dec K, Hainline B, Herring S, Kane SF, et al. American Medical Society for Sports Medicine position statement on concussion in sport. *Br J Sports Med.* 2019;53(4):213–25.
8. Makdissi M, Davis G, McCrory P. Updated guidelines for the management of sports-related concussion in general practice. *Aust Fam Physician.* 2014;43(3):94–9.
9. Patricios J, Fuller GW, Ellenbogen R, Herring S, Kutcher JS, Loosemore M, et al. What are the critical elements of sideline screening that can be used to establish the diagnosis of concussion? A systematic review. *Br J Sports Med.* 2017;51(11):888–94.
10. Putukian M, Echemendia RJ, Chiampas G, Dvorak J, Mandelbaum B, Lemak LJ, et al. Head Injury in Soccer: From Science to the Field; summary of the head injury summit held in April 2017 in New York City, New York. *Br J Sports Med.* 2019;53(21):1332.
11. World Rugby. World Rugby Concussion Management. Available from: <https://playerwelfare.worldrugby.org/concussion>.
12. National Football League. NFL Head, Neck and Spine Committee’s Concussion Diagnosis and Management Protocol. 2017. Available from: <https://www.playsmartplaysafe.com/wp-content/uploads/2017/06/2017-nfl-concussion-protocol.pdf>.
13. National Hockey League. Concussion Evaluation and Management Protocol. 2016; Available from: http://cdn.agilitycms.com/nhlpacom/2016-17_ConcussionProtocol.pdf.
14. English Ice Hockey Federation. Medical. Available from: <https://eiha.co.uk/eiha-education-program/medical/>.
15. Parachute. Homepage. Available from: <http://www.parachutecanada.org/injury-topics/item/concussion>.
16. Water Polo Canada. Concussion Education & Protocols. Available from: <http://www.waterpolo.ca/concussionprotocol.aspx>.
17. McCrory P, Feddermann-Demont N, Dvorak J, Cassidy JD, McIntosh A, Vos PE, et al. What is the definition of sports-related concussion: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2017;51(11):877–87.
18. Giza CC and Hovda DA. The new neurometabolic cascade of concussion. *Neurosurgery.* 2014;75 Suppl 4(04):S24–33.
19. Gupta A, Summerville G and Senter C. Treatment of Acute Sports-Related Concussion. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2019;12(2):117–23.
20. Huang YL, Kuo YS, Tseng YC, Chen DY, Chiu WT, and Chen CJ. Susceptibility-weighted MRI in mild traumatic brain injury. *Neurology.* 2015;84(6):580–5.
21. Karr JE, Iverson GL, Berghem K, Kotilainen AK, Terry DP, Luoto TM. Complicated mild traumatic brain injury in older adults: Post-concussion symptoms and functional outcome at one week post injury. *Brain Inj.* 2020;34(1):26–33.
22. Iverson GL, Brooks BL, Collins MW, Lovell MR. Tracking neuropsychological recovery following concussion in sport. *Brain Inj.* 2006;20(3):245–52.
23. Palla A, Sandor P, Mueller A, Feddermann-Demont N. Posttraumatischer Kopfschmerz nach sportbedingter Gehirnerschütterung. *Leading Opinions Neurologie & Psychiatrie.* 2019;(2):6–13.

24. Ellis MJ, Leddy JJ, Willer B. Physiological, vestibulo-ocular and cervicogenic post-concussion disorders: an evidence-based classification system with directions for treatment. *Brain Inj.* 2015;29(2):238–48.
25. Yang CC, Tu YK, Hua MS, Huang SJ. The association between the postconcussion symptoms and clinical outcomes for patients with mild traumatic brain injury. *J Trauma.* 2007;62(3):657–63.
26. Akhand O, Balcer LJ, Galetta SL. Assessment of vision in concussion. *Curr Opin Neurol.* 2019;32(1):68–74.
27. Feddermann-Demont N, Echemendia RJ, Schneider KJ, Solomon GS, Hayden KA, Turner M, et al. What domains of clinical function should be assessed after sport-related concussion? A systematic review. *Br J Sports Med.* 2017;51(11):903–18.
28. Kontos AP, Sufrinko A, Sandel N, Emami K, Collins MW. Sport-related Concussion Clinical Profiles: Clinical Characteristics, Targeted Treatments, and Preliminary Evidence. *Cur Sports Med Rep.* 2019;18(3):82–92.
29. Leddy JJ, Baker JG, Merchant A, Picano J, Gaile D, Matuszak J, et al. Brain or strain? Symptoms alone do not distinguish physiologic concussion from cervical/vestibular injury. *Clin J Sports Med.* 2015;25(3):237–42.
30. Lau B, Lovell MR, Collins MW, Pardini J. Neurocognitive and symptom predictors of recovery in high school athletes. *Clin J Sports Med.* 2009;19(3):216–21.
31. Lau BC, Kontos AP, Collins MW, Mucha A, Lovell MR. Which on-field signs/symptoms predict protracted recovery from sport-related concussion among high school football players? *Am J Sports Med.* 2011;39(11):2311–8.
32. Zasler ND. Sports concussion headache. *Brain Inj.* 2015;29(2):207–20.
33. Ahmed O H, Loosemore M, Hornby K, Kumar B, Sylvester R, Makalanda HL, et al. Moving concussion care to the next level: The emergence and role of concussion clinics in the UK. *Prog Brain Res.* 2017;234:205–20.
34. Davis T, Ings A. Head injury: triage, assessment, investigation and early management of head injury in children, young people and adults (NICE guideline CG 176). *Arch Dis Child Educ Pract Ed.* 2015;100(2):97–100.
35. Smits M, Dippel DW, Steyerberg EW, de Haan GG, Dekker HM, Vos PE, et al. Predicting intracranial traumatic findings on computed tomography in patients with minor head injury: the CHIP prediction rule. *Ann Intern Med.* 2007;146(6):397–405.
36. Johannes S, Schmidt H. Erstdiagnostik/Erstdokumentation für Erwachsene. 2018 Schweizerische Unfallversicherung SUVA. Verfügbar unter: <https://www.suva.ch/de-CH/material/tools-tests/formular-erstdiagnostik-lthv>.
37. Johannes S, Schmidt H. Erstdiagnostik/Erstdokumentation für Erwachsene 2018: Schweizerischer Versicherungsverband SVV. Verfügbar unter: https://www.svv.ch/sites/default/files/2018-03/Formular_Erstdiagnostik_LTHV-DE.PDF.
38. Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) The International Classification of Headache Disorders, 3rd edition. *Cephalalgia.* 2018;38(1):1–211.
39. Arshad Q, Roberts RE, Ahmad H, Lobo R, Patel M, Ham T, et al. Patients with chronic dizziness following traumatic head injury typically have multiple diagnoses involving combined peripheral and central vestibular dysfunction. *Clin Neurol Neurosurg.* 2017;155:17–9.
40. Bogduk N, Govind J. Cervicogenic headache: an assessment of the evidence on clinical diagnosis, invasive tests, and treatment. *Lancet Neurol.* 2009;8(10):959–68.
41. Mucha A, Fedor S, DeMarco D. Chapter 14 – Vestibular dysfunction and concussion, in *Handbook of Clinical Neurology*, B. Hainline and R.A. Stern, Editors. 2018, Elsevier. p. 135–144.
42. Brodsky JR, Shoshany TN, Lipson S, Zhou G. Peripheral Vestibular Disorders in Children and Adolescents with Concussion. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2018;159(2):365–70.
43. Reneker JC, Cheruvu VK, Yang J, James MA, Cook CE. Physical examination of dizziness in athletes after a concussion: A descriptive study. *Musculoskelet Sci Pract.* 2018;34:8–13.
44. Wrisley DM, Sparto PJ, Whitney SL, Furman JM. Cervicogenic dizziness: a review of diagnosis and treatment. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2000;30(12):755–66.
45. Chen G, Zhao X, Yu G, Jian H, Li Y, Xu G. Otolith dysfunction in recurrent benign paroxysmal positional vertigo after mild traumatic brain injury. *Acta Otolaryngol.* 2019;139(1):18–21.
46. MacDougall HG, McGarvie LA, Halmagyi GM, Curthoys IS, Weber KP. Application of the video head impulse test to detect vertical semicircular canal dysfunction. *Otol Neurotol.* 2013;34(6):974–9.
47. Petersen JA, Straumann D, Weber KP. Clinical diagnosis of bilateral vestibular loss: three simple bedside tests. *Ther Adv Neurol Disord.* 2013;6(1):41–5.
48. Digre KB and Brennan KC. Shedding light on photophobia. *J Neuro-ophthalmol.* 2012;32(1):68–81.

49. Tassignon MJ, Ni Dhubhghaill S, Ruiz Hidalgo I, Rozema J. Subjective Grading of Subclinical Vitreous Floaters. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2016;5(2):104–9.
50. Bousema EJ, Koops EA, van Dijk P, Dijkstra PU. Association Between Subjective Tinnitus and Cervical Spine or Temporomandibular Disorders: A Systematic Review. *Trends Hear*. 2018;22:2331216518800640.
51. Bressi F, Casale M, Papalia R, Moffa A, Di Martino A, Miccinilli S, et al. Cervical spine disorders and its association with tinnitus: The «triple» hypothesis. *Med Hypotheses*. 2017;98:2–4.
52. Chen, JX. Lindeborg M, Herman SD, Ishai R, Knoll RM, Remenschneider A, et al. Systematic review of hearing loss after traumatic brain injury without associated temporal bone fracture. *Am J Otolaryngol*. 2018;39(3):338–344.
53. Michiels S, Van de Heyning P, Truijien S, Halleman A, De Hertogh W. Prognostic indicators for decrease in tinnitus severity after cervical physical therapy in patients with cervicogenic somatic tinnitus. *Musculoskelet Sci Pract*. 2017;29:33–7.
54. King ML, Lichtman SW, Seliger G, Ehert FA, Steinberg J.S. Heart-rate variability in chronic traumatic brain injury. *Brain Inj*. 1997;11(6):445–53.
55. Hanna-Pladdy B, Berry ZM, Bennett T, Phillips HL, Gouvier WD. Stress as a diagnostic challenge for postconcussive symptoms: sequelae of mild traumatic brain injury or physiological stress response. *Clin Neuropsychol*. 2001;15(3):289–304.
56. Gall B, Parkhouse WS, Goodman D. Exercise following a sport induced concussion. *Br J Sports Med*. 2004;38(6):773–7.
57. Heyer GL, Young JA, Fischer AN. Lightheadedness After Concussion: Not All Dizziness is Vertigo. *Clin J Sports Med*. 2018;28(3):272–7.
58. Jaffee MS, Winter WC, Jones CC, Ling G. Sleep disturbances in athletic concussion. *Brain Inj*. 2015;29(2):221–7.
59. Strakowski SM, Adler CM, DelBello MP. Is depression simply a nonspecific response to brain injury? *Cur Psychiatry Rep*. 2013;15(9):386.
60. Wick M, Muller EJ, Hahn MP, Muhr G. Spinal contusion after trauma to the cervical spine--relevance of the sagittal diameter of the spinal canal. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 1999;137(4):340–4.
61. Schneider KJ, Leddy JJ, Guskiewicz KM, Seifert T, McCrea M, Silverberg ND, et al. Rest and treatment/rehabilitation following sport-related concussion: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2017;51(12):930–4.
62. Leddy JJ, Haider MN, Ellis M, Willer BS. Exercise is Medicine for Concussion. *Curr Sports Med Rep*. 2018;17(8):262–70.
63. Diener HC, Holle D, Solbach K, Gaul C. Medication-overuse headache: risk factors, pathophysiology and management. *Nat Rev Neurol*. 2016;12(10):575–83.
64. Sport Concussion Assessment Tool – 5th edition. *Br J Sports Med*. 2017;51(11):851–8. Available from: <https://bjsm.bmj.com/content/bjsports/51/11/851.full.pdf>.
65. Makdissi M, Schneider KJ, Feddermann-Demont N, Guskiewicz KM, Hinds S, Leddy JJ, et al. Approach to investigation and treatment of persistent symptoms following sport-related concussion: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2017;51(12):958–68.
66. Polinder S, Cnossen MC, Real RGL, Covic A, Gorbunova A, Voormolen DC, et al. A Multidimensional Approach to Post-concussion Symptoms in Mild Traumatic Brain Injury. *Front Neurol*. 2018;9:1113.
67. King NS. 'Mild Traumatic Brain Injury' and 'Sport-related Concussion': Different languages and mixed messages? *Brain Inj*. 2019;33(12):1556–63.