

«Return-to-play»: Commotiomanagement von Kindern und Jugendlichen im Sport

Daniela Marx-Berger, Josef Laimbacher, Walter Kistler

Ostschweizer Kinderspital, St. Gallen

Quintessenz

- Kinder und Jugendliche stellen aufgrund ihres Alters, des sich noch entwickelnden Gehirns und der vermuteten grösseren Vulnerabilität des Gehirns eine besondere Gruppe im Management von Patienten mit Gehirnerschütterungen im Sport dar.
- Patienten mit einer Commotio sollten sowohl physisch als auch kognitiv pausieren, bis sich die Symptome zurückgebildet haben.
- Solange ein Patient in Ruhe oder bei Anstrengung noch symptomatisch ist, sollte die «Return-to-play»-Entscheidung verschoben werden.
- Die Langzeitfolgen multipler Gehirnerschütterungen sind noch relativ unbekannt, aber es bestehen Hinweise darauf, dass vermehrt neurokognitive Störungen auftreten.

Einleitung und Epidemiologie

Sportler im Kindes- und Jugendalter sind aufgrund des sich noch entwickelnden Gehirns und der vermuteten grösseren Empfindlichkeit des Gehirns eine besondere Herausforderung in der medizinischen Betreuung nach einer Commotio. Noch vor zehn Jahren durften Sportler nach einer leichten Commotio am selben Tag wieder trainieren oder am Wettkampf teilnehmen. Seither wird vor allem in den USA aufgrund der dort viel häufiger betriebenen Risikosportarten wie *American Football*, Eishockey und Rugby das Thema in der Laien- und Fachpresse viel diskutiert. Wichtige Diskussionspunkte sind dabei die Prävention, das Management der Akutphase, «Return-to-play»-Richtlinien und das Risiko für Langzeitkomplikationen.

20% der traumatischen Hirnverletzungen, welche mit Bewusstseinsverlust einhergehen, passieren während sportlicher Aktivität [1]. Studien bei Kindern und Jugendlichen lassen vermuten, dass 26% der geschlossenen Kopfverletzungen durch Unfälle während des Sports hervorgerufen werden [2], diese Zahlen jedoch eher unterschätzt werden, da viele Gehirnerschütterungen nicht als solche diagnostiziert werden, wenn keine medizinische Konsultation erfolgt [3]. In der Schweiz betrieben im Jahr 2009 443 527 Kinder und Jugendliche zwischen 5 und 20 Jahren Sport, organisiert in Vereinen (Angaben des Bundesamts für Sport BASPO). Viele Gehirnerschütterungen passieren aber während des Schulunterrichts, beim Spiel in der Freizeit und im Strassenverkehr, und für diese Patienten gelten selbstverständlich die gleichen Richtlinien wie

für die während des Sports erlittenen Gehirnerschütterungen.

Mädchen sollen im sportartspezifischen Vergleich eine höhere Inzidenz für Gehirnerschütterungen haben als Knaben. Die genauen Gründe sind unklar. Eine Vermutung ist, dass Mädchen schwächere Nackenmuskeln haben als Jungen. Eine andere Theorie ist, dass Knaben ihre Symptome seltener äussern, weil sie befürchten, ein Wettkampfverbot zu bekommen.

Definition

In der Literatur werden die Begriffe Commotio und leichtes Schädelhirntrauma synonym gebraucht. In diesem Artikel wird der Begriff Commotio/Gehirnerschütterung verwendet, zumal der Begriff «leicht» oft inakkurat ist in diesem Kontext und bei Spielern, Eltern und Betreuern zu Verharmlosungen führen kann. Die Definition der Diagnose Commotio wurde in den letzten Jahren immer wieder verändert. Im Rahmen der letzten *International Conference on Concussion in Sport* in Zürich 2008 wurde die Commotio als komplexer pathophysiologischer Prozess definiert, der durch traumatische biomechanische Kräfte hervorgerufen wird [4]. Folgende fünf Punkte sind klassische Merkmale für die Diagnose einer Commotio:

1. Eine Commotio kann hervorgerufen werden durch einen direkten Schlag an Kopf, Gesicht und Hals oder auch an andere Körperstellen, was zu einer impulsiven Kraftübertragung auf den Kopf führt.
2. Typischerweise kommt es zu einem raschen Einsetzen von Symptomen, die neurologische Funktionen beeinträchtigen, in der Regel kurzlebig sind und spontan verschwinden.
3. Die akuten klinischen Symptome sind die Folge einer funktionellen Störungen und nicht einer strukturellen Veränderung.
4. Die Commotio führt zu einem graduellen Einsetzen von Symptomen mit oder ohne Bewusstlosigkeit. In der Regel verschwinden die Symptome ebenfalls nacheinander. In einigen Fällen kann es jedoch zu einer Beschwerdepersistenz im Sinne eines postkollisionellen Syndroms kommen.
5. Standardbildgebungen wie konventionelles CT oder MRI zeigen keine strukturellen Auffälligkeiten.

Biomechanik und Pathophysiologie

Eine Commotio wird durch auf das Gehirn einwirkende Rotations- oder Winkelbeschleunigungen ausgelöst [5, 6].



Daniela Marx-Berger

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

Tabelle 1. Klinische Zeichen einer Commotio [12].

Physisch	Kognitiv	Emotional	Schlaf
Kopfschmerzen	Konzentrations-schwierigkeiten	Irritabilität	Schwindel
Übelkeit	Gedächtnisstörungen	Traurigkeit	Vermehrtes Schlafen
Erbrechen	Sich «benebelt» fühlen	Erhöhte Emotionalität	Vermindertes Schlafen
Gleichgewichts-probleme	Sich verlangsamt fühlen	Nervosität	Einschlafstörungen
Sehstörungen	Verwirrtheit		
Müdigkeit	Vergesslichkeit		
Lichtempfindlichkeit	Beantwortet Fragen langsam		
Geräuschempfind-lichkeit	Wiederholt Fragen ständig		
Sich benommen/betäubt fühlen			

Tabelle 2. Post Concussion Symptom Scale. Keine Symptome: 0; moderate Symptome: 3; starke Symptome: 6 [12].

Kopfschmerzen	1	2	3	4	5	6
Übelkeit	1	2	3	4	5	6
Erbrechen	1	2	3	4	5	6
Gleichgewichtsprobleme	1	2	3	4	5	6
Schwindel	1	2	3	4	5	6
Müdigkeit	1	2	3	4	5	6
Einschlafstörungen	1	2	3	4	5	6
Übermässiges Schlafbedürfnis	1	2	3	4	5	6
Schlaflosigkeit	1	2	3	4	5	6
Schläfrigkeit	1	2	3	4	5	6
Lichtempfindlichkeit	1	2	3	4	5	6
Geräuschempfindlichkeit	1	2	3	4	5	6
Irritabilität	1	2	3	4	5	6
Traurigkeit	1	2	3	4	5	6
Nervosität	1	2	3	4	5	6
Vermehrte Emotionalität	1	2	3	4	5	6
Benommenheit	1	2	3	4	5	6
Verlangsamt fühlen	1	2	3	4	5	6
Benebelt fühlen	1	2	3	4	5	6
Konzentrations-schwierigkeiten	1	2	3	4	5	6
Gedächtnisschwierigkeiten	1	2	3	4	5	6
Sehstörungen	1	2	3	4	5	6

Anleitung: Der Sportler soll das Formular allein (wenn vom Alter her möglich) ausfüllen, indem er für jedes Symptom den entsprechenden Punktwert einkreist. Dieses Formular kann theoretisch bei jeder Konsultation neu ausgefüllt werden. Viele Sportler haben einige der beschriebenen Symptome auch vor der Commotio (Baseline), z.B. im Rahmen einer Depression oder eines ADHS. Dies muss selbstverständlich mit in Betracht gezogen werden, und in diesem Fall müssen die Athleten auch keinen Score von 0 haben, um wieder ins Training zurückzukehren. Dieser *Post Concussion Symptom Scale* ist nicht dafür validiert, die Schwere einer Commotio zu beurteilen.

Gewisse Studien vermuten, dass es bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen grössere Kräfte braucht, um eine Gehirnverletzung zu verursachen [7]. Erwachsene erlei-

den typischerweise mehr intrakranielle Verletzungen in Kombination mit Schädelfrakturen als Kinder [8]. Auf molekularer Ebene kommt es im Tiermodell zu Rissen in den Membranen der Neuronen, was zu einem massiven Kaliumausstrom in den Extrazellulärraum führt [9, 10]. Dies führt zu einer kalziumabhängigen Freisetzung von exzitatorischen Aminosäuren, besonders Glutamat, was einen weiteren Kaliumausstrom begünstigt. Um wieder ein Ionengleichgewicht herzustellen, kommt es zu einer gesteigerten Glykolyse, welche schliesslich zu einer Laktatakkumulation führt. Da gleichzeitig der zerebrale Blutfluss abnimmt, kommt es zu einer «Energiekrise» [10]. Nach der initialen Steigerung der Glykolyse kommt es im Verlauf zu einer Dysfunktion der Mitochondrien mit vermindertem zerebralem Glukosemetabolismus innerhalb der ersten 24 Stunden, welcher gemäss experimentellen Studien bis zu zehn Tage persistieren kann.

Einteilungen nach Schweregrad

Eine Einteilung in verschiedene Schweregrade wird gemäss der neusten Konsensuspapiere betreffend Commotio im Sport nicht mehr empfohlen. Das Hauptaugenmerk wird heute dagegen auf die individuelle Symptombeurteilung und die individuelle «Return-to-play»-Entscheidung gelegt [11].

Klinische Zeichen und Symptome

Die klinischen Zeichen und Symptome können in vier Kategorien eingeteilt werden (Tab. 1) [12]: physische, kognitive und emotionale Symptome sowie Schlaf. Kopfschmerzen sind das am häufigsten geäusserte Symptom. Bewusstlosigkeit tritt in weniger als 10% der Fälle auf, kann jedoch bei längerer Dauer Grund für weitere Interventionen und eine Bildgebung sein. Auch eine länger dauernde Amnesie kann ein wichtiger Hinweis auf eine schwerere Verletzung sein. Die weiteren Symptome sind ähnlich wie bei einer Depression, Angststörung oder einem ADHS und können insbesondere bei zugrundeliegender Grunderkrankung dieser Art manchmal schwer davon zu unterscheiden sein. Auch treten die Symptome nicht immer sofort nach dem Trauma auf, sondern erst mit einigen Stunden Latenz. Des Weiteren können kurze tonische und/oder klonische zerebrale Krampfanfälle auftreten, die in der Regel jedoch keine weiteren Massnahmen ausser einer klinischen Überwachung benötigen. Während der Erholungsphase können die Symptome mit Hilfe des *Post Concussion Symptom Scale* (Tab. 2) [12] quantifiziert werden. Es gibt verschiedene Varianten, die hier dargestellte Form ist jedoch die am häufigsten verwendete. Es ist wichtig, dass der Sportler die einzelnen Symptome versteht und den Fragebogen ohne Hilfe ausfüllt, sofern er dies vom Alter her kann. Die Kenntnis der persönlichen Anamnese ist dabei wichtig, denn es wird z.B. nicht erwartet, dass Athleten mit vorbestehender Depression, ADHS oder Schlafstörungen einen Score von 0 erzielen, bevor sie wieder mit dem Training beginnen dürfen.

Tabelle 3. Stufenweises «Return-to-play»-Protokoll.

Stufe	Aktivität
1 Keine Aktivität	Komplette körperliche und kognitive Ruhe
2 Leichte aerobe Aktivität	Gehen, Schwimmen, Hometrainer mit 70% der max. Herzfrequenz; kein Krafttraining
3 Sportspezifische Aktivität	Sportspezifische Übungen, kein Kontaktsport
4 «Non-contact»-Training	Komplexere Übungen, leichtes Krafttraining
5 «Full-contact»-Training	Teilnahme am normalen Training (nach Konsultation beim Arzt)
6 «Return-to-play»	Wettkampf möglich

Jede Stufe dauert mindestens 24 Std., d.h. bis zur Wettkampffähigkeit vergehen mindestens 5 Tage. Wenn Symptome auf einer Stufe wieder auftreten, soll die Aktivität unterbrochen werden, bis der Sportler mind. wieder 24 Std. asymptomatisch ist. Dann soll auf der vorherigen Stufe wieder neu begonnen werden, also auf der Stufe, die ohne Symptome absolviert werden konnte. Bei wieder auftretenden Symptomen soll der Athlet einen Arzt aufsuchen. Jeder Sportler mit multiplen Gehirnerschütterungen oder prolongierten Symptomen sollte ein individuelles Rehabilitationsprogramm erhalten und idealerweise von einem in Commotiomanagement erfahrenen Arzt betreut werden [12].

Bildgebung

Konventionelle Bildgebungen wie CT und MRI sind bei einer Commotio unauffällig. Eine zerebrale Bildgebung soll daher nur erfolgen, wenn Verdacht auf eine intrakranielle Läsion besteht. Indikationen dazu sind z.B. starke Kopfschmerzen, Krampfanfälle, fokale Ausfälle, persistierendes Erbrechen, Somnolenz, signifikanter Schwindel, persistierende fehlende Orientierung und Irritabilität. Eine normale zerebrale Bildgebung in der Akutphase schliesst ein Subduralhämatom oder neurologisch bedingte Verhaltensänderungen in der Folge nicht aus.

Neuropsychologische Tests

Mit der Verfügbarkeit von computerisierten neuropsychologischen Tests hat die neuropsychologische Testung als zusätzliches Kriterium im Rahmen der Beurteilung von Gehirnerschütterungen einen grösseren Stellenwert erhalten. Idealerweise würden die Sportler vor Beginn der Saison einen sogenannten «Baseline»-Test durchführen. Dieses Ergebnis kann dann im Falle einer Commotio zum Vergleich herangezogen werden. Mehrere Studien konnten zeigen, dass nach einer Commotio die getesteten Hirnfunktionen wie z.B. Arbeitsgedächtnis, verbales und visuelles Gedächtnis, Reaktionsgeschwindigkeit, Aufmerksamkeit und Arbeitsgeschwindigkeit reduziert sind und damit eine komplette Erholung noch nicht stattgefunden hat [13, 14]. Manchmal kann ein solcher Test hilfreich sein, einen Sportler, dessen Eltern oder Trainer davon zu überzeugen, dass es noch zu früh ist, wieder ins Training oder gar den Wettkampf einzusteigen. Die «Return-to-play»-Entscheidung soll jedoch keinesfalls allein auf der neuropsychologischen Testung beruhen, vielmehr ist diese als zusätzliches Entscheidungskriterium zu sehen.

Management des «Return-to-play»

Das Ziel in der Behandlung von Kindern und Jugendlichen nach Commotio ist es, eine schnelle Erholung zu gewährleisten und gleichzeitig Patienten, Eltern und Trainern klar zu machen, dass eine adäquate Zeit für eine physische und kognitive Erholung notwendig ist. Jeder Patient mit Commotio sollte individuell behandelt werden. Weil Kinder und Jugendliche längere Erholungszeiten nach einer Commotio haben, sollten für diese Patientenpopulation konservativere «Return-to-play»-Entscheidung getroffen werden [15–17].

Nach einer Commotio sollten alle Athleten Sportverbot haben, solange sie in Ruhe noch Symptome haben. Zu frühe körperliche Aktivität kann Symptome verstärken und die Rekonvaleszenz verlängern [18]. Ein graduelles «Return-to-play»-Protokoll wird allgemein empfohlen. Sobald der Sportler in Ruhe asymptomatisch ist, kann er stufenweise dem Protokoll folgen (Tab. 3) [12].

Viele Athleten berichten über sich verschlimmernde Symptome während kognitiver Aufgaben im Anschluss an eine Commotio. Das Konzentrieren in der Schule, das Arbeitstempo und auch Lesen bereiten oft Mühe und rufen neu wieder Symptome hervor. Das macht intuitiv Sinn, da eine Commotio eine funktionelle (und keine strukturelle) Störung ist. Von daher wird neu vermehrt auch Wert auf eine kognitive Erholung gelegt. Es wird empfohlen, die Schüler allenfalls kurzfristig ganz aus der Schule zu nehmen und/oder ihnen mehr Zeit für Aufgaben einzuräumen, Möglichkeiten für kurze Pausen zu geben und den Arbeitsumfang allenfalls zu reduzieren. Eine Absprache mit den Lehrpersonen ist wünschenswert. Aber auch von Beschäftigungen mit Videogames, Computer und Natel (SMS schreiben) sowie Fernsehschauen sollte in dieser Zeit abgeraten werden.

Repetitive Gehirnerschütterungen

Nach einer ersten Commotio hat der Sportler ein höheres Risiko für eine weitere Commotio. Das Risiko dafür ist 7–10 Tage nach der ersten Commotio am grössten. Ein Grund dafür könnte sein, dass durch die erste Commotio die Reaktionsfähigkeit herabgesetzt ist. Oft ist das Trauma, welches zu einer zweiten Commotio führt, auch sehr gering. Die Symptome nach einer zweiten Commotio persistieren häufig länger [19]. Obwohl Studien gezeigt haben, dass Gehirnerschütterungen Langzeitauswirkungen auf die neurokognitiven Fähigkeiten der Sportler haben können, kann zum heutigen Zeitpunkt nicht gesagt werden, wie viele und schwere Gehirnerschütterungen ein (insbesondere beim Kind und Jugendlichen sich noch entwickelndes) Gehirn verkraften kann. Studien zeigen, dass Sportler, die multiple Gehirnerschütterungen erlitten haben, überdurchschnittlich häufig an Depressionen und Gedächtnisstörungen leiden, und Post-mortem-Studien zeigen ein erhöhtes Risiko für eine chronisch-traumatische Enzephalopathie [20–22].

Ein auch viel diskutiertes und ebenfalls umstrittenes Phänomen ist das *Second-impact*-Syndrom. Typischer-

weise entsteht das *Second-impact*-Syndrom, wenn ein Sportler, der noch Symptome von der ersten Commotio hat, einen (oft geringen) zweiten Schlag erhält. Man vermutet, dass es durch eine gestörte Autoregulation des zerebralen Blutflusses rasch zu einem Hirnödem mit Einklemmung kommt [23]. Gegner der Theorie des *Second-impact*-Syndroms favorisieren jedoch eher die Theorie, dass das Ödem durch die primär nicht erkannte ernsthafte Verletzung verursacht wird und nicht durch einen zweiten Schlag. Sicher ist jedoch, dass jugendliche Sportler dafür ein höheres Risiko haben, denn alle in der Literatur bekannten Fallbeschreibungen sind bei Sportlern unter 20 Jahren aufgetreten [24]. Die durch repetitive Gehirnerschütterungen hervorgerufenen Langzeitfolgen für Sportler jeden Alters sind ein Grund zur Besorgnis. Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es mehr Fragen als konklusive Antworten, da es keine prospektiven Langzeitstudien mit jugendlichen Sportlern gibt, die eine oder mehrere Gehirnerschütterungen erlitten haben. Von daher gibt es auch keine evidenzbasierten Richtlinien, die eine Maximalzahl von Gehirnerschütterungen angeben [25]. Es wird vorgeschlagen, einen Sportler nach drei Gehirnerschütterungen innerhalb einer Saison oder einem über drei Monate persistierenden postkommotionellem Syndrom für längere Zeit für Risikosportarten zu sperren [26, 27].

Postkommotionelles Syndrom

Eine klare Definition für das postkommotionelle Syndrom fehlt. Im *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition* wird es als die Persistenz von drei oder mehr der folgenden Symptome über drei Monate im Anschluss an eine Commotio beschrieben: Müdigkeit, Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Schwindel, Irritabilität oder Aggressivität, Ängstlichkeit oder Depression, Persönlichkeitsänderungen oder Apathie. Kinder und Jugendliche zeigen oft abfallende Schulleistungen. Neuropsychologische Tests zeigen oft Schwierigkeiten in den Bereichen Gedächtnis und Aufmerksamkeit [28].

Prävention

Erkennung und richtige Behandlung sind die beste Prävention [29]. Viele Athleten und Trainer beurteilen gewisse Symptome gar nicht als Commotio. In vielen Studien wurde gezeigt, dass die Gefahr des *Underreportings* gross ist, sei es aus Unwissenheit oder aus Angst, für einen kommenden Wettkampf gesperrt zu werden. Helme helfen katastrophale Verletzungen wie z.B. Schädelfrakturen zu verhindern, bisher konnte jedoch in Studien nicht eindeutig nachgewiesen werden, dass Helme auch die Inzidenz von Gehirnerschütterungen

reduzieren. Eine kräftige Nackenmuskulatur hat theoretisch einen präventiven Effekt, das Problem ist aber, dass ein Sturz/Schlag in der Regel so unvorbereitet passiert, dass keine Zeit für die willkürliche Anspannung der Nackenmuskulatur bleibt.

Zusammenfassung

Gehirnerschütterungen sind ein häufiges Problem bei Kindern und Jugendlichen, sowohl im Sport wie auch im Alltag. Erkennung und richtige Diagnosestellung sind wichtig, um ein individuelles Vorgehen einzuleiten. Es wäre zu wünschen, dass diese Patienten von medizinischem Fachpersonal betreut werden, das Erfahrung hat in der Betreuung von Patienten mit Gehirnerschütterungen. In den USA ist es in vielen Staaten bereits Gesetz, dass ein Jugendlicher nach einer Commotio ein ärztliches Zeugnis benötigt, um wieder am Training teilzunehmen. Computerisierte neuropsychologische Tests bieten eine zusätzliche diagnostische Möglichkeit.

Die Erholung dauert in der Regel einige Tage; jüngere Patienten erholen sich tendenziell langsamer als ältere. Solange ein Patient noch Symptome hat, sollte er noch nicht wieder trainieren. Die Rückkehr ins volle Training sollte stufenweise erfolgen. Die genaue Anzahl von Gehirnerschütterungen, welche ein Gehirn vertragen kann, ist unklar. Es bestehen Hinweise, dass Sportler, welche im Rahmen ihrer Karriere mehrere Gehirnerschütterungen erlitten haben, häufiger an neurologischen Defiziten leiden. Insbesondere sollte bei der Betreuung von Kindern und Jugendlichen nicht vergessen werden, dass wir es mit einem sich entwickelnden Gehirn zu tun haben, welches grosse kognitive Aufgaben im Schulalltag zu bewältigen hat, und dass wir für diese Patienten aufgrund ihres Alters eine besondere Sorgfaltspflicht haben.

Korrespondenz:

Dr. med. Daniela Marx-Berger
Oberärztin Pädiatrie
Pädiatrie FMH, Sportmedizin SGSM
Ostschweizer Kinderspital
CH-9006 St. Gallen
daniela.marx-berger@kispisg.ch

Empfohlene Literatur

- McCrory P, Meeuwisse W, Johnston K, Dvorak J, Aubry M, Molloy M, Cantu R. Consensus statement on concussion in Sport: the 3rd international conference on concussion in sport held in Zurich, November 2008. *Clin J Sport Med.* 2009;19(3):185–200.
- Halstead ME, Walter KD and the Council on Sports Medicine and Fitness. Sport-related concussion in children and adolescents. *Pediatrics.* 2010;126:597–615.
- Meehan WP, Bachur RG. Sport-related concussion. *Pediatrics.* 2009; 123:114–23.

Die vollständige nummerierte Literaturliste finden Sie unter www.medicalforum.ch.

«Return-to-play»: Commotiomanagement von Kindern und Jugendlichen im Sport /

«Return-to-play»: prise en charge de la commotion des enfants et adolescents sportifs

Literatur (Online-Version) / Références (online version)

1. Sosin DM, Sniezek JE, Thurmann DJ. Incidence of mild and moderate brain injury in the United States, 1991. *Brain Inj.* 1996;10(1):47-54
2. Browne GJ, Lam LT. Concussive head injury in children and adolescents related to sports and other leisure physical activities. *Br J Sports Med.* 2006; 40(2):163-168
3. Kaut KP, DePompei R, Kerr J, Congeni J. Reports of head injury and symptom knowledge among college athletes: implications for assessment and educational intervention. *Clin J Sport Med.* 2003;13(4): 213-221
4. McCrory P, Meeuwisse W, Johnston K, Dvorak J, Aubry M, Molloy M, Cantu R. Consensus statement on concussion in Sport: the 3rd international conference on concussion in sport held in Zurich, November 2008; *Clin J Sport Med* 2009; 19(3):185-200
5. Denny-Brown D, Russell R. Experimental cerebral concussion. *Brain* 1941;64 (2-3):93-164
6. Broglio SP, Schnebel B, Sosnoff JJ, Shin S, Feng X, He X, Zimmermann J. Biomechanical properties of concussion in High School football. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2010, Vol.42,No.11, 2064-2071
7. Ommaya AK, Goldsmith W, Thibault L. Biomechanics and neuropathology of adult and paediatric head injury. *Br J Neurosurg.* 2002; 16(3):220-242
8. Munoz-Sanchez MA, Murrilo-Cabezas F, Cayuela A. The significance of skull fracture in mild head trauma differs between children and adults. *Childs Nerv Syst.* 2005;21(2):128-132
9. Katayama Y, Becker DP, Tamura T, Hovda DA. Massive increase in extracellular potassium and the indiscriminate release of glutamate following concussive brain injury. *J Neurosurg.* 1990; 73(6):889-900
10. Giza CC, Hovda DA. The neurometabolic cascade of concussion. *J Athl Train.* 2001; 36(3):228-235
11. Aubry M, Cantu R, Dvorak J et al. Concussion in sport (CIS) group. Summary and agreement statement of the 1st international symposium of concussion in sport: Vienna 2001. *Clin J Sport Med.* 2002; 12(1):6-11
12. Halstead ME, Walter KD and the Council on Sports Medicine and Fitness. Sport-related concussion in children and adolescents. *Pediatrics* 2010;126:597-615
13. Collins MW, Field M, Lovell MR, et al. Relationship between postconcussion headache and neuropsychological test performance in high school athletes. *Am J Sports Med.* 2003;31(2):168-173
14. Echemendia RJ, Cantu RC. Return to play following sports related mild traumatic brain injury: the role for neuropsychology. *Appl Neuropsychol.* 2003; 10(1):48-55
15. Field M, Collins MW, Lovell MR, Maroon J. Does age play a role in recovery from sports-related concussion? A comparison of high school and collegiate athletes. *J Pediatr.* 2003; 142(5):546-553
16. Kirkwood MW, Yeates KO, Wilson PE. Pediatric sports-related concussion: a review of the clinical management of an oft-neglected population. *Pediatrics* 2006; 117(4):1359-1371

17. McCrory P, Collie A, Anderson V, Davis G. Can we manage sports related concussion in children the same as in adults? *Br J Sports Med.*2004; 38(5):516-519
18. Majerske CW, Mihalik JP, Ren D et al. Concussion in sports:postconcussive activity levels, symptoms and neurocognitive performance. *J Athl Train.*2008;43(3): 265-274
19. Guskiewicz KM, McCrea M, Marshall SW, et al. Cumulative effects associated with recurrent concussion in collegiate football players: the NCAA concussion study. *JAMA* 2003; 290(19):2549-2555
20. Omalu BI, DeKosky ST, Minster RL et al. Chronic traumatic encephalopathy in a national football league player. *Neurosurgery* 2005;57:128-134;discussion 128-134
21. Omalu BI, DeKosky ST, Hamilton RL et al. Chronic traumatic encephalopathy in a national football league player: part II. *Neurosurgery* 2006;59(5):1086-1092; discussion 1092-1093
22. Cantu RC. Chronic traumatic encephalopathy in the national football league. *Neurosurgery* 2007;61(2): 223-225
23. Cantu R. Second impact syndrome: a risk in any contact sport. *Phys Sportsmed.* 1995;23(6):27
24. McCrory P. Does second impact syndrome exist? *Clin J Sport Med.* 2001;11(3):144-149
25. Boden BP, Tacchetti RL, Cantu RC, Knowles SB, Mueller FO. Catastrophic head injuries in high school and college players. *Am J Sports Med.* 2007; 35(7):1075-1081
26. Cantu RC. When to disqualify an athlete after a concussion. *Curr Sports Med Rep.* 2009; 8(1):6-7
27. Cantu RC. Recurrent athletic head injury: risks and when to retire. *Clin Sports Med.* 2003; 22(3):593-603
28. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 4th ed. Text revision (DSM-IV-TR). Washington, DC: American Psychiatric Association;2000
29. Meehan WP, Bachur RG. Sport-related concussion. *Pediatrics* 2009;123;114-123.