

MODELLING AND ANALYSIS OF SOCCER HEADING AND
PROTECTIVE HEADGEAR TO UNDERSTAND AND PREVENT
MILD TRAUMATIC BRAIN INJURY

MOHD HASNUN ARIF HASSAN

Thesis submitted in fulfilment of the requirements
for the award of the degree of
Doctor of Philosophy

Faculty of Manufacturing Engineering
UNIVERSITI MALAYSIA PAHANG

AUGUST 2016

ABSTRACT

The uniqueness of soccer is the fact that one is allowed to use the head to direct the ball in the game. This purposeful ball-to-head impact has become one of the causes of head injuries in soccer. Clinical studies have linked multiple soccer headings with the risk of sustaining mild traumatic brain injury. This study attempts to look into this matter from the engineering perspective. An analytical model of ball-to-head impact was developed based on the mass-spring-damper system. The model predicts the linear acceleration of the skull and brain during an impact with a soccer ball. Validation against dropped-ball experiments and published experimental studies demonstrates a good agreement between the predicted linear head accelerations and those of the experiment and literature. Moreover, finite element model of a soccer ball was developed and validated against ball impact experiment and a published model. The predicted ball impact characteristics were congruous with those measured in the experiment. Further, parametric studies show that the head angle during impact and the ball pressure influence the head responses due to soccer heading. Hence, a proper heading technique and ball pressure is vital to reduce the risk of sustaining brain injury. Moreover, a human head finite element model was adopted from a previous study and validated against a published cadaveric experimental data of intracranial pressures and linear head acceleration. A good agreement was reached between the predicted head responses and those of the cadaveric experiment. The validated soccer ball and human head finite element models were assembled to perform soccer heading simulations. To validate the finite element analysis, a soccer heading experiment was conducted on human volunteers. An instrumented mouthpiece was used to record linear and angular head accelerations during the soccer heading trials. The simulation results match those of the experiment with more than 80% accuracy. Furthermore, the study aims to evaluate the efficacy of impact-absorbing foams in mitigating the risk of sustaining head injury due to soccer heading. Another soccer heading experiment was carried out with the volunteers wearing a commercial soccer headgear. The linear and angular head accelerations obtained were compared to those of without wearing the headgear. The results demonstrate that the headgear is incapable of reducing the risk of head injury. Finite element analyses of soccer heading with wearing the headgear were performed. The comparison of both results reveal a good agreement, which suggest that the finite element models developed is a useful tool in the development of a new protective headgear for soccer players. In addition, parametric studies of the foam material properties show that an elastomeric foam alone might not be able to attenuate the risk of sustaining head injury due to soccer heading. Further works on the design of the headgear and the use of composite materials in the headgear design is recommended.

ABSTRAK

Keunikan sukan bola sepak ialah seseorang pemain dibenarkan untuk menggunakan kepala untuk menanduk bola. Impak bola dan kepala ini telah menjadi salah satu punca kecederaan kepala di dalam sukan ini. Ujian klinikal menunjukkan tandukan bola sepak berkali-kali boleh mengakibatkan kecederaan otak. Kajian ini cuba untuk melihat perkara ini daripada perspektif kejuruteraan. Satu model impak bola dan kepala analitikal telah dibangunkan berdasarkan sistem jisim-spring-peredam. Model ini menganggarkan pecutan linear kepala dan otak ketika dihentam oleh bola sepak. Model tersebut disahkan melalui perbandingan dengan sebuah eksperimen jatuhan bola sepak dan kajian-kajian terdahulu. Perbandingan menunjukkan kesepadanan di antara pecutan kepala linear yang dianggarkan oleh model berbanding yang diukur di dalam eksperimen serta literasi. Selain itu, sebuah model unsur terhingga bola sepak juga dibangunkan dan disahkan melalui perbandingan dengan sebuah eksperimen hentaman bola dan model yang telah diterbitkan. Anggaran sifat-sifat hentaman bola adalah sepadan dengan sifat-sifat yang telah diukur di dalam eksperimen. Kajian parametrik menunjukkan bahawa sudut kepala ketika hentaman dan tekanan bola mempengaruhi gerak balas kepala ketika menanduk bola. Oleh itu, teknik tandukan berserta tekanan bola yang sesuai amat penting bagi mengurangkan risiko kecederaan otak. Selain itu, sebuah model unsur terhingga kepala manusia telah diadaptasi daripada sebuah kajian terdahulu dan disahkan berdasarkan data tekanan intrakranium dan pecutan linear kepala daripada sebuah eksperimen ke atas kadaver manusia. Model bola sepak dan kepala manusia tersebut kemudian dihipunkan untuk menjalankan simulasi tandukan bola sepak. Untuk mengesahkan simulasi ini, sebuah eksperimen tandukan bola sepak telah dijalankan ke atas sukarelawan manusia. Sebuah pelindung mulut teralat digunakan untuk merekodkan pecutan kepala linear dan sudut. Keputusan simulasi didapati sepadan dengan eksperimen dengan kejituan melebihi 80%. Seterusnya, penilaian tahap keberkesanan peresap hentaman berbusa di dalam mengurangkan risiko kecederaan kepala ketika menanduk bola sepak turut dijalankan. Sebuah eksperimen dijalankan di mana para sukarelawan memakai sebuah alat pelindung kepala komersil dicipta khas untuk pemain bola sepak. Pecutan kepala linear dan sudut yang diukur dibandingkan dengan eksperimen tanpa memakai pelindung kepala. Perbandingan menunjukkan pelindung kepala komersil tersebut gagal untuk mengurangkan risiko kecederaan kepala. Analisa unsur terhingga dijalankan bagi kes dengan memakai pelindung kepala. Perbandingan menunjukkan kesepadanan yang baik, sekali gus membuktikan kebolehpayaan model-model unsur terhingga yang telah dibangunkan di dalam pembangunan sesebuah alat pelindung kepala yang baru untuk para pemain bola sepak. Tambahan pula, kajian parametrik menunjukkan bahan elastomerik berbusa sahaja mungkin tidak mampu untuk mengurangkan risiko kecederaan kepala ketika menanduk bola sepak. Kajian lanjut mengenai rekabentuk alat pelindung kepala dan penggunaan bahan komposit adalah disarankan.