

Erlernen des Vorwärtszyklus beim Laufen durch erhöhtes Feedback. Ein Vergleich des kinetischen Feedbacks und dem Videofeedback der Kontrollgruppe.

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Gesundheit und Forschung

eingereicht von

Kym Céline Sandra Marti

an der
Universität Freiburg, Schweiz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät
Abteilung Medizin
Department für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Prof. Jean-Pierre Bresciani

Betreuer
Dr. Thibaut Le Naour

Fribourg, August 2019

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung	5
1.1 Verletzungen	7
1.2 Feedback.....	8
1.3 Kinematische Rückmeldung	12
1.4 Laufzyklus	13
1.5 Problematik / Ziel der Arbeit	15
2 Methode.....	17
2.1 Gruppen und Probanden.....	17
2.2 Vorbereitung Experiment.....	17
2.3 Studiendesign	18
3 Resultate	23
3.1 Normalitätstest	23
3.2 Homogenitätstest.....	23
3.3 Evaluation Umfragebogen.....	32
4 Diskussion	36
5 Schlussfolgerung	41
6 Literaturverzeichnis.....	42
7 Anhang	45

Zusammenfassung

Das Laufen ist nach Almeida, Davis und Lopes (2015) allein in Europa einer der populärsten physischen Aktivitäten. Einige Athleten sind auf der Suche nach einer effizienteren Lauftechnik, um so Verletzungen vorzubeugen. Vielen Hobbyläufern ist die Tragweite nicht bekannt. Ziel dieser Arbeit war es, durch einen Vergleich des biokinetischen und dem visuellen Feedback herauszufinden, ob die Lernfähigkeit eines Vorwärtslaufzyklus beeinflusst werden kann. Dazu wurde in einer Feedback- und einer Kontrollgruppe ein Vergleich zu einer Experten-Gruppe vorgenommen. Über einen Zeitraum von zwei Wochen wurden an $n=17$ Probanden 5-mal zwanzig Minuten Messungen zum Vorwärtslaufzyklus beim Laufen vorgenommen. Für die Methode wurde ein Bewegungssensorgerät (OptiTrack) und ein Computer-Programm (CapLab) zur Bilddarstellung und Laufanalyse verwendet. Beim Vorwärtslaufzyklus wird ein Aufprall mit dem Vorderfuss gesucht, wobei in diesem Experiment die Höhe des Aufpralls, wie auch eine niedrigere Ausgangshöhe der Ferse beim Zyklusausgang gemessen wurde. Des Weiteren wurde die Pelvis-Orientierung um die Nullgradachse gemessen. Die Resultate waren in einem Fall besonders interessant. Es handelte sich entweder um eine Verbesserung oder Verschlechterung der Bewegung durch die gewählte Methode. Die optimale Lauftechnik beim Laufzyklus und eine damit verbundene Verbesserung der Bewegung entspricht einem hohen Vorderfussaufprall, einem neutralen Pelviswinkel und einem tiefen Hinterfussausgang. In diesem Experiment konnte herausgefunden werden, dass beim Erlernen eines neuen Bewegungsmusters beim Vorwärtslaufzyklus, der Vorderfuss-Aufprall in beiden Gruppen ein signifikanter Unterschied zwischen Prä- (Session 1) und Post-Intervention (Session 5, Retentionsphase) verzeichnet werden konnte, wobei die Feedbackgruppe bessere Werte erzielte. Bei der Gesamtdatenanalyse in den beiden Boxplot-Darstellungen beim Hinterfuss (BackFoot) und der Pelvis-Orientierung zeigt sich ein grosser Varianzunterschied zwischen der Feedback- und der Kontrollgruppe. Durch die Grafiken erkennt man an der Verteilung die stärkere k-Gruppe (Feedback) im Vergleich zur v-Gruppe (Kontrollgruppe). Im Vorwärtslaufzyklus sollte der BackFoot beim Zyklusausgang eine möglichst geringe Höhe in cm erreichen und bei der Pelvis-Orientierung scheint eine eher neutrale Position um null Grad von Vorteil zu sein. Die Resultate haben gezeigt, dass die Feedbackgruppe (k) mit einem p-Wert von 0.001 und die Kontrollgruppe (v) mit einem p-Wert von 0.02 bei Aufprallshöhe des Vorderfusses in cm signifikante Werte erreicht haben. Hiermit wird gezeigt, dass die Probanden der Kontrollgruppe im Vergleich zur Feedbackgruppe weniger an Höhe generieren, was dem erwarteten Resultat entspricht. In beiden Gruppen konnte jedoch eine Verbesserung der Bewegung aufgezeigt werden. Die Resultate wurden durch einen

ungepaarten t-Test analysiert und auf Homogenität und Normalität geprüft, wobei herauskam, dass nicht alle Gruppen normalverteilt waren und eine Homogenität aufweisen konnten. Dies kann durch eine zu kleine Stichprobenzahl $n < 30$, eine verbesserungsfähige, randomisierte Gruppeneinteilung und eine zu schlechte Evaluation des Laufniveaus durch die Probanden selbst stammen. Die Resultate verschiedener Studien nach Chua et al. (2003), Roosink et al. (2015), Kelly, Healy, Moran und O'Connor (2010) und Chan, Leung, Tang und Komura (2011) zeigten, dass ein Feedback-System vorteilhaft für das Erlernen motorischer Bewegungen und einem Erfolg in der Leistungsevolution sein kann. Der Videovergleich im Livefeedback als Trainingsmethode sollte als effizientere Intervention für Sportler dienen, sodass die sportliche Entwicklung von Bewegungen manifestiert werden kann. Durch die Rückmeldung der Probanden kristallisierte sich heraus, dass es eine interessante und motivierende Methode sei, etwas Neues zu erlernen.

1 Einleitung

Der Laufsport ist einer der populärsten physischen Aktivitäten; nach Almeida et al. (2014) werden allein in Europa 36% der Bevölkerung als gelegentliche Läufer klassifiziert. Diese Art von Bewegung steht jedem frei und jederzeit zur Verfügung und der menschliche Körper ist dazu konzipiert, sich durch Laufen fortzubewegen. Die Problematik liegt darin, dass Laufen ein komplexes Zusammenspiel zwischen den Gelenken und deren Belastung darstellt, wodurch eine Vielzahl an Verletzungen entstehen können. Trotzdem ist der Laufsport im Trend und nach Lob (2014) nehmen die Anzahl an Wettbewerben sowie der Rennresultate unabhängig vom Alter und Leistungsniveau zu. Demnach wollen sich viele Läufer verbessern und das auch verletzungsfrei. In dieser Arbeit geht es primär um das Erlernen einer effizienten Lauftechnik durch ein biokinetisches Feedback. Das Experiment der Studie wurde in einem Sportpsychologie-workshop erarbeitet und weitergeführt. Die Beobachtungen haben gezeigt, dass tatsächlich positive Effekte erzielt werden konnten. Nach dem Erstellen der Problematik im Gebiet des Erlernens von motorischen Bewegungen, wurden die Hypothese nach allgemeinen Kriterien geprüft: Ob die Bewegungen ökonomischer bzw. energiesparender sind, wo sich die Fehlerquellen verbergen und ob die Bewegung online oder offline abläuft. Durch das Erlernen eines neuen, verbesserten Bewegungsmusters gibt es weniger Verletzungen und ist somit auch ökonomischer in Bezug auf die Gelenke nach Rooney und Derrick (2013). Eine weitere Studie von Davis, Rice und Wearing (2017) hat gezeigt, dass die Art der Landung einen Einfluss auf die Verletzungshäufigkeit der Läufer haben kann. Durch immer mehr gepolsterte Schuhe hat sich die Laufweise verändert und damit auch die biomechanische Belastung auf die Gelenke und den Körper. Viele Läufer haben von einem Vorderfuss-Laufmuster auf ein Hinterfuss-Schrittmodell gewechselt. Dadurch wird der Körper anders belastet, was sich vor allem negativ auf die unteren Extremitäten auswirken kann. Des Weiteren können die Laufzeiten durch die Technik des Vorderfusslaufens und dem Vorwärtszyklus nach Lacouture, Decatoire, Colloud und Monnet (2013) verbessert werden. Die Stichprobe setzt sich aus n=17 Probanden zusammen, welche vereinzelt Laufsport betreiben und ihre Technik gerne verbessern möchten. Aus der Stichprobe werden drei ähnlich starke Niveaugruppen von jeweils unterschiedlicher Anzahl Probanden sowie eine Kontrollgruppe von 8 Personen gebildet. Die Einteilung findet durch die jeweilige Laufzeit pro Kilometer statt. Die erste Gruppe benötigt für einen Kilometer fünf bis sechs Minuten und bildet eine Gruppe von vier bis fünf Probanden. Die zweite Leistungsgruppe setzt sich aus mindestens zwei Probanden zusammen, die den Kilometer in vier bis fünf Minuten

absolvieren. In der schnellsten Leistungsgruppe (Kilometer unter vier Minuten) befindet sich eine Person. Zu Beginn der Einteilung in die Leistungsniveaus und aus Interesse zur mehrheitlich homogenen Gruppe, werden die Probanden mit Fragebögen zur Häufigkeit, dem Lauftraining in Stunden pro Woche und ihrer Person wie Geschlecht und Alter befragt. Die Probanden erlernen eine Vorwärtszyklus-Lauftechnik mit Hilfe von einem direkten Feedback und werden mit einer Kontrollgruppe verglichen. Dabei werden drei wichtige Punkte analysiert: Zum einen die Vorderfussaufprallhöhe, die Fersenausgangshöhe beim Laufzyklus und die Pelvis-Orientierung. Die Änderungen der drei Kernpunkte sollte vor dem Experiment als Referenzpunkt für den Rückwärtslaufzyklus und nach dem Experiment für den gewünschten Vorwärtszyklus dienen. Mit der Projektion der Expertenkurve auf dem Bildschirm sollte mit der Zeit die Abweichung der Probanden im Vergleich mit den Experten geringer werden. Die Studie von Anderson und Campbell (2015) setzte den Teilnehmern ein gleichzeitiges Selbstbeobachtungs-Feedback per Video vor, zudem wurde eine Echtzeitdemonstration eines Experten gezeigt. Dadurch wurde ein zeitgleicher Videomechanismus des Expertenbildes und der Selbstbeobachtung die sich überlagern, kreiert. Der Zweck dieser Studie war es, eine visuelle Information zu verwenden, um somit qualitative Bewegungen in verschiedenen Sportarten zu erlernen. Die Resultate verschiedener Studien nach Chua et al. (2003), Roosink et al. (2015), Kelly et al. (2010) sowie Chan et al. (2011) zeigten, dass ein Feedback-System für das Erlernen motorischer Bewegungen einen Erfolg in der Leistungsevolution vorteilhaft sein kann. Der Videovergleich im Livefeedback als Trainingsmethode sollte als effizientere Intervention für Sportler dienen, sodass die sportliche Entwicklung von Bewegungen manifestiert werden kann. Nach Le Naour, Ré und Bresciani (2019) wurde die Effizienz von verschiedenen visuellen Informationen für die Verbesserung von Gymnastikbewegungen untersucht. Dabei wurden zwei 3D-Feedbacks mit einem traditionellen und einem visuellen Experten-Video-Feedback verglichen. Die Verbesserung der Bewegung wurde einerseits subjektiv von offiziellen Schiedsrichtern beurteilt sowie durch eine objektive quantitative Serienanalyse bewertet. Die Video-Demonstration mit Experteninformation wurde dabei in Form einer Beobachtung und einem 3D-Feedback zur Bewegungsdarstellung verwendet. Die Kombination von Informationsdarstellungen, d.h. die Bewegung der Experten und die Bewegungen des Lernenden waren in den Augen der Richter die besten Rückmeldearten, welche am effizientesten zur Bewegungsverbesserung beitrugen. Weniger aussagekräftige Ergebnisse wurden bei der Bewegungsausführung mit der quantitativen Methode der Zeitreihenanalyse erzielt. Die Studie nach Anderson und Campbell (2015) verwendete als Feedback einen gleichzeitigen Videomechanismus, welcher zwei Bewegungsbilder, jenes vom Novizen mit der Selbstbeobachtung und das der Expertendemonstration,

übereinander lagert. Die Resultate ergaben, dass sich Sportler mit Selbst-Feedback und einer direkten Expertendemonstration in ihrer Leistung in unterschiedlichen Sportarten verbessert haben. Die Lernenden können die beiden Videos nach der Anzeigemethode nebeneinander oder nacheinander ansehen, wobei die Teilnehmer die beiden Videos der Selbst- und Expertenmodellierung nicht gleichzeitig ansehen können. Auch wenn die Videos gleichzeitig starten, ist die zeitliche Synchronisation nicht gewährleistet, was einen zusätzlich limitierenden Faktor darstellt. Durch die Rückmeldung der Probanden kristallisierte sich heraus, dass es eine interessante und motivierende Methode sei, um etwas Neues zu erlernen.

1.1 Verletzungen

Nach Altman und Davis (2012) ist das Laufen mit zu stark gepolsterten Schuhen unnatürlich und fördert das Hinterfuss-Laufen beim ersten Bodenkontakt. Deshalb können immer häufiger Fehlbelastungen der Gelenke der unteren Extremitäten beobachtet werden, welche primär durch eine schlechte Lauftechnik und die falschen Schuhe ausgelöst werden. Nach der Studie von Hamill und Gruber (2017) können durch eine bessere Technik nicht nur Verletzungen reduziert, sondern auch eine Verbesserung der Laufökonomie erreicht werden. Mehrere Studien haben aufgezeigt, dass es zu biomechanischen Belastungsunterschieden zwischen dem Vorder- und Hinterfussaufprall beim Bodenkontakt kommt, wie auch zu veränderten Gelenkwinkeln, welche einen grossen Einfluss auf die Verletzungsrate bei Läufern haben. In der Studie von Davis et al. (2017) wurde die Frage des Vorwärtszyklus und dem Vorderfussaufprall mit dem Boden untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass das Laufen mit einem erhöhten Vorwärtszyklus das Verletzungsrisiko beim Laufen verringert. Beim Bodenaufprall wirken verschiedene kinematische Belastungen auf die Gelenkssegmente, welche durch unterschiedliche Laufmuster verursacht werden. Bei Vorderfussläufern kommt der Vorderfuss als Erstes in Bodenkontakt und es wird eine Knieflexion festgestellt. Der Hinterfussläufer hingegen tritt zuerst mit der Ferse auf. Die unterschiedlichen Kontaktarten beim Laufen erhöht beim Fersläufer die vertikale Kraft auf die Gelenke, des Weiteren kann eine Extension des Knies beobachtet werden. Gemäss Almeida et al. (2015) wird das Verletzungsrisiko in Bezug auf die Knieflexion im Vergleich zur Knieextension vermindert. Ebenfalls spielt nach Sakaguchi, Shimizu, Yanai, Stefanyshyn und Kawakami (2015) bei der Prävention von Verletzungen die Hüftrotation eine entscheidende Rolle. Durch ein 3D-Bewegungsanalysesystem fanden sie heraus, dass durch eine Anpassung des Laufstils die Verletzungsgefahr reduziert werden kann. Lacouture et al. (2013) haben sich speziell auf den Vergleich von Lauftechniken konzentriert. Im Ergebnis stellten sie fest, dass

laufen mit einem Vorwärtszyklus kraftsparender und vorteilhafter als mit einem Rückfussaufprall ist.

1.2 Feedback

Beim motorischen Lernen nach Schmidt, Lee, Winstein, Wulf und Zelaznik (2011) fokussiert sich die Leistungssteigerung auf die Veränderung von Fähigkeiten mit Hilfe von unterschiedlichen Methoden. Das motorische Lernen wurde in verschiedenen Ebenen definiert. Der Lernprozess und die Erwerbskapazität, um Handlungen korrekt auszuführen entspricht der Theorie, dass wenn etwas mehrmals geübt wird, die Person in der spezifischen Aufgabe besser wird. D.h. Lernen kann als direktes Resultat nach Training und Erfahrung eintreffen, wobei das Erlernen nicht direkt beim Verhalten sichtbar gemacht werden kann, da es intern verankert ist. Der Lernprozess hingegen kann Aufschluss über die Veränderungen im Verhalten geben. Es wird vermutet, dass beim Erlernen permanente Veränderungen der Kapazität von fachlichem Verhalten hergestellt wird. Es wird jedoch nicht einberechnet, dass sich die Laune, Motivation und der innere Zustand der Person verändern kann und so Einfluss auf das Lernen nimmt. Nach Schmidt et al. (2011) gibt es zwei verbundene Vorgänge von erlernten Bewegungsfertigkeiten: Die Übertragung und die Retention (Speicherung im Gedächtnis). Dabei dürfen sich in einem Retentionstest die Lernenden mindestens 24h nach der Erwerbsphase nicht mit der gestellten Aufgabe befassen. Damit soll evaluiert werden, ob das Gelernte langanhaltend verarbeitet und abgespeichert wurde. Sehr wichtig für den Lernprozess ist das Gedächtnis, wobei der Lernende nach der Erwerbsaneignung die Fähigkeit einige Zeit nach dem Erlernen wiedergeben kann. Nach dem Abschliessen einer Bewegungshandlung wird die Information im Kurzzeitgedächtnis gespeichert und klassifiziert. Es wird evaluiert, wie sich die Bewegung angefühlt, angehört und ausgesehen hat. Dies wird auch bewegungsproduziertes Feedback genannt. Gemäss Schmidt et al. (2011) gibt es zwei Arten von Feedback: Das intrinsische bzw. das innere Feedback und das erhöhte Feedback von aussen kommend. Beim erhöhten Feedback gilt es wiederum verschiedene Arten zu unterscheiden. Zum einen das terminale Feedback, welches nach der Bewegungshandlung gezeigt wird. Im Vergleich dazu folgt das gleichzeitige Feedback, welches dem Probanden schon während dem Ausführen der Bewegung präsentiert wird. Mehrere Studien sind zum Schluss gekommen, dass es am besten ist, eine motorische Fähigkeit durch erhöhtes Feedback zu erlernen.

In dieser Arbeit wird untersucht, ob die richtige Lauftechnik zur Verbesserung und langfristigen Erlernen des Vorwärtszyklus beim Laufen führt; indem einer Probandengruppe ein vorteilhafter Vorderfusszyklus mit einem kinetischen Feedback beigebracht und mit einer Kontrollgruppe

mit selbstständigem Videofeedback verglichen wird. Anderson und Campbell (2015) benutzen ein Echtzeit-Feedback mit Selbstbeobachtung und Expertenmodell, um eine Beschleunigung beim Bewegungslernen im Rudern zu erlangen. Das Feedback beinhaltet die direkte Selbstbeobachtung des Probanden, sowie das im Vorfeld aufgenommene Expertenmodellvideo. Die Resultate haben gezeigt, dass ein kombiniertes Feedback einen positiven Einfluss auf das Erlernen einer Sporttechnik haben kann. Bei der Studie von Le Naour et al. (2019) sollte es mit Hilfe von unterschiedlichen Arten von visuellen Informationen zur verbesserten Ausführung einer Gymnastikbewegung kommen. Im Vergleich standen dabei zwei verschiedene 3D-Feedbacks und das visuelle Feedback, welches als das traditionelle Beobachtungsfeedback des Expertenmodell dienen sollte. Nach Ericksen et al. (2016) wurde nach einer vierwöchigen Feedback-Intervention eine Evidenz von biomechanischen Veränderungen festgestellt. Dabei handelte es sich um ein Echtzeit-Feedback mit gleichzeitigem, traditionellem Feedback, welches mit der Kontrollgruppe, die nur ein traditionelles Feedback erhielt, verglichen wurde. Die Resultate zeigten eine bessere Anpassung beim kombinierten Feedback in Echtzeit und traditionell in Bezug auf die Hüftflexion und dem Kniewinkel bei Sprunglandungen. Die Studie hat gezeigt, dass ein traditionelles Feedback im Gegensatz zu einem direkten (Online)-Feedback weniger effizient erscheint. Ein Echtzeit-Feedback, welches während der Aufgabe abläuft, kann eine bessere Aquisitionsphase für das Erlernen des Bewegungsmusters und die spätere Wiedergabe ohne jegliches Feedback fördern. Des Weiteren liefert die Studie Belege für das Erfassen einer biomechanischen Veränderung nach der Feedback-Intervention. Der Videovergleich im Live-Feedback als Trainingsmethode sollte als effizientere Intervention für Sportler dienen, sodass die sportlichen Entwicklungen von Bewegungen manifestiert werden.

1.2.1 Videofeedback. Nach Arbabi und Sarabandi (2016); Boyer, Miltenberger, Batsche und Stokes (2008) sowie Merian & Baumberger (2008) wird durch die Kombination von Videomodellierung und Feedback ein signifikanter Effekt auf die Leistung im nachhaltigen Erlernen von motorischen Bewegungen gezeigt. Merian & Baumberger (2008) fanden heraus, dass beim Erlernen von neuen Bewegungen die Wirksamkeit von Videofeedbacks im Vergleich zu verbalen Feedbacks signifikant steigt. Die Ergebnisse stützen sich auf die Hypothese, dass ein Video das Erlernen einer neuen Aufgabe erleichtert und somit leistungssteigernd sein kann.



Abbildung 1. Video-Feedback: Probandin der Kontrollgruppe ohne kinetisches Feedback versucht durch visuelles Feedback ihr Laufmuster zu verbessern.

1.2.2 Virtuelle Realität. In vielen Ausdauersportarten wird das virtuelle Feedback als gängige Coaching-Methode verwendet. Gemäss Erfahrungen unterschiedlicher Studien, stellt die Anwendung beim Erlernen von Bewegungsmustern mit Hilfe der virtuellen Realität im Vergleich zu Bilder- oder Videorückmeldung eine gute Methode dar. Die Begründung, warum gerade ein Beitrag in der virtuellen Realität einen positiven Effekt auf die Bewegungsaktionen haben könnte, kann durch eine realistische Bewegung in Echtzeit erklärt werden. Des Weiteren hat man in der virtuellen Realität eine bessere Kontrolle als in einer natürlichen Umgebung und besser steuerbare Grössen als in einem anderen Medium. Nach Covaci, Olivier und Multon (2014) wurde der Einsatz von Virtual Reality (VR) im Sporttraining erforscht, um die in der virtuellen Umgebung erworbenen motorischen Fähigkeiten in die Praxis umzusetzen. Die Informationen, die visuell durch das virtuelle Feedback verarbeitet werden, können dank des besseren Verständnisses der Aufgabe zur Leistungssteigerung bei motorischen Präzisionsaufgaben führen. Die Methode könnte vermehrt von Trainern verwendet werden, um mit diesem System die erworbenen motorischen Fähigkeiten ihrer Athleten von einer virtuellen in eine reale Umgebung umzusetzen. Die Studie von Bailenson et al. (2008) zeigt, dass die Virtual Reality eine neue Lernmöglichkeit darstellen kann, um insbesondere Bewegungen von Individualpersonen optimal auszuführen. Die Probanden waren durch die Nutzung von interaktiven Medien in der Lage, bessere Lernergebnisse zu erzielen. Mittels eines bildbasierenden Tele-Immersionssystem wurde die Fähigkeit, eine motorische Bewegung zu erfassen, ermöglicht, welche durch einen Avatar in Echtzeit wiedergegeben werden kann. Die Teilnehmer konnten im Vergleich zum gewöhnlichen Video-Feedback bessere Lernfortschritte erzielen, indem mit einem direkt projizierten Echtzeit-Avatar die Selbstbewertungsmassnahmen in der virtuellen Realität gesteigert wurden. Gemäss Chua et al. (2003) geht es um die Schaffung eines Virtual-Reality-

Systems, um eine animierte Darstellung der Bewegung in einer virtuellen Umgebung zu erzeugen und zur optimalen Nachahmung eines Probanden zu nutzen. Damit soll gezeigt werden, dass ein solches System das Training für Bewegungslernen verbessern kann. Nach Roosink et al. (2015) ging die Rehabilitationsleistung durch direktes Feedback (Live) in der Virtuellen Realität. Die Studie von Chan et al. (2011) untersucht das Zusammenspiel der virtuellen Realität mit der Technologie der Bewegungsaufnahme (Motion Capture) für ein innovatives Trainingssystem. Dieses wurde durch eine klassische Art des Bewegungslernen konzipiert und basiert auf einem virtuellen Lehrer, der die gewünschte Bewegung auf die Wand projiziert und so dem Probanden vorzeigt. Gleichzeitig wird die Bewegung des Probanden erfasst und vom System analysiert. Durch diese Referenzgrundlage wird dem Probanden eine Rückmeldung (Feedback) seiner motorischen Fähigkeit präsentiert. Die Resultate dieser Studie zeigten, dass ein solches System bei der Erlernung motorischer Fähigkeiten eine Leistungssteigerung erzielen kann. Durch die Rückmeldung der Probanden kristallisierte sich heraus, dass es eine interessante und motivierende Methode ist, um etwas Neues zu lernen.

1.2.3 Biokinetisches und spezifisches Feedback. Durch das Erlernen einer neuen Lauftechnik kann die Effizienz beim Laufen gesteigert werden und vor allem die Laufgeschwindigkeit erhöht werden. In der Studie von Arbabi und Sarabandi (2016) wurde der Erwerb einer sportlichen Fähigkeit durch den Einfluss einer Selbst-Video-Modellierung in Kombination mit einer Experten-Modellierung auf das nachhaltige Lernen geprüft. In Bezug auf das langfristige Erlernen von motorischen Bewegungen konnten die Probanden mit dieser Art von Feedback die besten Resultate erzielen. Grund für diese Evolution ist das präzise Aufzeichnen der eigenen Fehler im Vergleich zur Experten-Bewegung. Die Motivation der Teilnehmer hilft, mehr Anstrengung in die Leistung zu bringen, um so nahe wie möglich an das Experten-Modell zu gelangen. Nach Preece, Bramah und Mason (2018) wurde der Unterschied zwischen Profi- und Amateurläufern gemacht, wobei herausgefunden wurde, dass die Profiläufer durch eine Vorderfußpositionierung mit Vorwärtszyklus eine höhere vertikale Geschwindigkeit aufweisen können als Ferseläufer. Es wurde ein virtueller Spiegel entwickelt, der mit einem realistischen Ganzkörper-Avatar dargestellt wird und auf die Bewegungen des Echtzeitkörpers reagiert. Ziel war es, durch die Anwendung vom proprio-visuellen Feedback die Probanden in ihren Bewegungen zu beurteilen und eine Anpassung zu erlangen. Bei Kelly et al. (2010) wurde der Einsatz von einer virtuellen Golfcoaching-Umgebung für die Raffinierung der spezifischen Bewegung entwickelt. Im virtuellen Coaching-Studio ermöglichen Bewegungsanalysewerkzeuge eine Verbesserung der Technik des Probanden. Eine dreidimensionale Coaching-Umgebung

ermöglicht dem Spieler durch das Zusammenspiel von zwei virtuellen menschlichen Avataren zudem, präzise Bewegungsinformationen zu erhalten. Der erste Avatar imitiert die Bewegung des Spielers selbst und der zweite übernimmt die Rolle eines virtuellen Experten, der die Bewegung einwandfrei ausführt. Durch das gleichzeitig ablaufende Feedback ermöglicht dies dem Spieler, eine Annäherung an sein Potential zur präzisen Bewegungsausführung zu generieren. Die Resultate nach Boyer (2008) haben gezeigt, dass sich die Sportler mit dem Video-Feedback der Experten in ihrer Leistung verbessert haben. Das Online-Feedback entspricht einer direkten Rückmeldung, welche eine Überlagerung der räumlichen und zeitlichen Synchronisation einer Bewegung zeigt. Die Bewegungen der Novizen werden in Echtzeit aufgenommen und mit einer Referenzbewegung, in diesem Fall der Expertenkurve, durch ein Skelett, den Kurven der Novizen und Experten sowie den Winkeln verglichen.

1.3 Kinematische Rückmeldung

Die sensomotorischen Systeme sind dafür verantwortlich, Informationen sensorisch aufzunehmen, zu verarbeiten und durch Efferenzen motorisch weiterzugeben. Die Informationsebene (Afferenz) umfasst alle neuronalen Strukturen zur Aufnahme und Weiterleitung von Umwelteinflüssen, welche über die visuelle und akustische Sensorik, den Vestibularapparat und weitere Sensoren zum zentralen Nervensystem gelangen. Auf der Propriozeptionsebene bzw. der Wahrnehmungsebene der Bewegung werden andere tiefensensitive Rezeptoren aktiv, wie z.B. die Mechano-, Muskel- und Gelenksrezeptoren. In der Verarbeitungsebene werden die Informationen selektiv gefiltert und so gut wie möglich weitergeleitet. Auf der Ausführungsebene (Efferenz) kommt es zur koordinativen Leistung des Zusammenspiels von Muskeln der Haltemotorik und der Zielmotorik nach Gisler-Hoffmann (2008). Beim Erlernen eines neuen Bewegungsmusters wird zuerst die visuelle Information afferent erfasst, danach wird die Information im Kortex verarbeitet und schlussendlich über efferente Bahnen über einen motorischen Befehl direkt an den Muskel weitergeleitet. Die biomechanische Untersuchung des Laufens ist ständiger Gegenstand vieler Forschungen, weshalb der Einsatz von Beobachtungsinstrumenten und die Analyse von Messdaten unabdingbar sind, um neue Erkenntnisse in der Laufanalyse zu gewinnen. In der Studie von Lacouture et al. (2013) wurden die Bewegungen mit Hilfe von Bildanalysesystemen zur kinetischen Bewegungsmessungen durch drei Achsen im Raum aufgenommen und danach zur Messung der Kontaktfläche durch Synchronisation auf die Kraftmessplattform übertragen. Dies ermöglicht die qualitative Bewertung einer dynamischen Bewegung eines Athleten mit der richtigen Coaching-Technik. Diese Methode überprüft den Bereich der biomechanischen Laufuntersuchung zur Entwicklung eines optimalen anterioren

Laufzyklus. Im Bereich des sportlichen Trainings kommen nach Lacouture et al. (2013) zum Erlernen des Laufmechanismus moderne Bildverarbeitungsgeräte zur Anwendung. Beim erweiterten oder reduzierten Körperfeedback nach Bailenson et al. (2008), Chan et al. (2011), Chua et al. (2003), Kelly et al. (2010), sowie Roosink et al. (2015) bietet die virtuelle Realität (VR) neue Lernmöglichkeiten. Das Videofeedback wurde in diesen Studien als Rückmeldungsart favorisiert.

1.4 Laufzyklus

Die Charakterisierung des Laufzyklus ist von mehreren Parametern abhängig, wie z.B. dem sich wiederholenden Laufmuster auf einem regelmässigen Streckenabschnitt, der als ein Zyklus gekennzeichnet werden kann. Der Laufzyklus wird durch Raum und Zeit definiert, die zwei aufeinanderfolgende identische Positionen untereinander trennen bzw. der Moment der Positionierung des Fusses bis zur nächsten Bodenberührung am gleichen Ort. Der Laufzyklus zeichnet sich zum einen durch seine Schrittlänge und seine Flugdauer aus, wie auch durch die Positionierung des Fusses nach vorne. Somit kann der Zyklus durch die Messung zwei aufeinanderfolgenden Berührungspunkte am Boden durch den Abstand ermittelt werden.

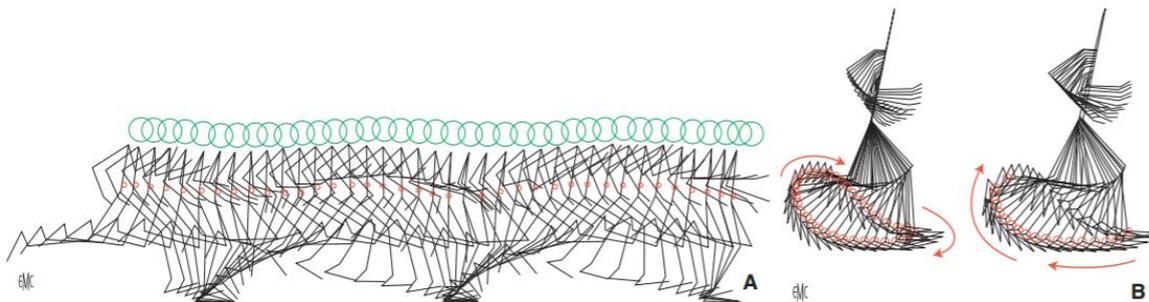


Abbildung 2. (A) Kinogramm des Laufzyklus. (B) Anteriore und posteriore Ansicht des Laufschriffs. (Lacouture, 2013, S. 5)

Die Kinogramme in Abbildung 1 zeigen die unterschiedlichen Körperhaltungen und Positionen der verschiedenen Gelenksegmente während der Phasen des Laufzyklus nach Lacouture et al. (2013). Der Bildnachweis erfolgt über die Marker, die eine Rekonstruktion der Laufbahn durch die Messung der Segmente der Extremitäten und der Positionierung des Körperschwerpunktes bis am Ende der Strecke zurücklegen, um so die kinetische Bewegung zu berechnen. Des Weiteren werden in der Studie von Piasenta (1988) die unteren Extremitäten während des gesamten Zyklus näher betrachtet, wie in der untenstehenden Tabelle näher beschrieben wird.

Tabelle 1

Merkmale des Vor- und Rückwärtszyklus nach Piasenta (1988)

Zyklus	Boden Fussposition (1)	Haltung (2)	Impuls (3)	Abdruck vom Boden (4)
Vorwärtszyklus	Platzierung Vorderfuss vor dem Becken, hohes fixiertes Becken	Becken fixiert, aktiv Vorderfuss Ferse hat keinen Bodenkontakt	Oberschenkelwinkel geschlossen	Oberschenkel verschiebt sich nach vorne
Rückwärtszyklus	Ferse-Aufprall als erstes in Kontakt mit dem Boden, Becken in Antversion nach hinten gerichtet	Anteversion vom Becken, Flexion Knie, Fuss passiv	Oberschenkelwinkel geöffnet	Knieposition dämpft und verhindert mit dem Fuss nach vorne zu gelangen
Zyklus	Beinevolution (5)	Oberschenkelposition (Zyklus) (6)	Fusshaltung (7)	Bodenkontakt (8)
Vorwärtszyklus	Knieverlauf nach vorne gerichtet	Verlauf von vorne und hinten fast identisch (ausgeglichen)	Oberschenkel- Bein frei nach vorne verschoben, von Oberschenkel Impuls zum Bein	Fussaufprall nach vorne, von vorne nach hinten scharren Geschwindigkeit hoch
Rückwärtszyklus	Knierückkehr wird gedämpft und verhindert nach vorne zu gelangen	Fast komplett nach hinten verlagert	freies Segment Oberschenkel verschiebt sich nach hinten	Bewegung der Ferse hoch zum Gesäss nach hinten Geschwindigkeitsverlust

Anmerkung. Die Unterschiede der Merkmale beim Vorwärts- und Rückwärtszyklus werden in acht Hauptkriterien unterteilt und beschrieben.

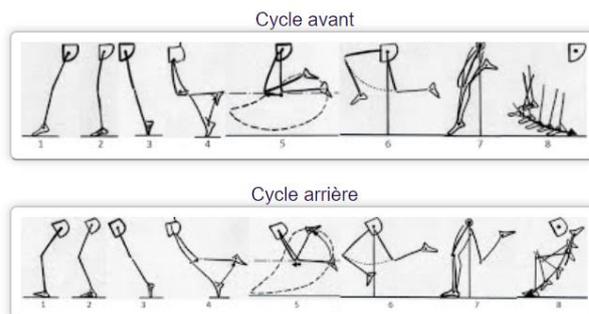


Abbildung 2. L'education athlétique: Bildliche Darstellung des in Tabelle 1 erläuterten Vorwärts- und Rückwärtszyklus und deren Hauptunterschiede. (Piasenta, 1988)

Die Fussposition beim Laufen sowie die Kurve («Poulaine») des Beinzyklus vor- und rückwärts werden in der Studie von Lacouture et al. (2013) aufgegriffen und genauer analysiert. Beim Vorwärtszyklus wird mit der in Abb. 2 dargestellten Position 3, also mit dem Vorderfuss als erstes der Bodenkontakt gesucht, dabei sollte der Fuss weit nach vorne gebracht werden. Der

zweite wichtige Punkt ist die Positionierung des Hinterfusses beim Vorwärtszyklusausgang, wobei die Ferse nicht zu hoch zum Gesäss gezogen werden sollte. Schliesslich wird die Beckenposition, wenn möglich neutral gehalten, um einen guten Vorwärtszyklus auf den Vorderfuss zu generieren. Nach Piasenta (1988) kann man dadurch eine höhere Geschwindigkeit aufbauen, da von vorne nach hinten eine scharrartige Bewegung ausgeführt wird und man somit effizienter von A nach B gelangt.

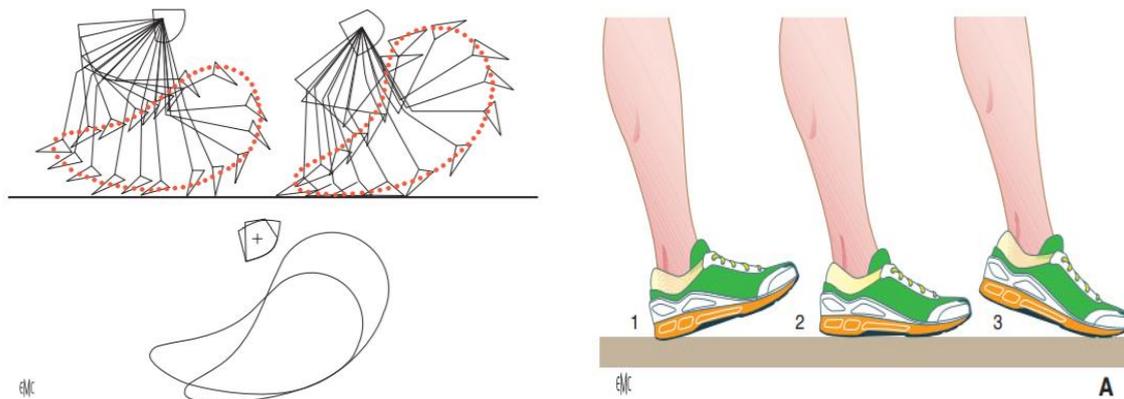


Abbildung 3. Links: Laufzyklus anterior sowie posterior. Rechts (A): 1) Fussaufprall mit dem Hinterfuss 2) Mittelfussaufprall 3) Vorderfussaufprall. (Lacouture, 2013, S. 7 & 16)

1.5 Problematik / Ziel der Arbeit

Mit diesem Experiment sollte primär gezeigt werden, dass die Feedback-Methode im Vergleich zur Kontrollmethode bessere Leistungsfortschritte beim Erlernen des Vorwärtszyklus erzielen kann. Dabei wurden der Vorderfussaufprall in Bezug auf die Höhe in cm, der Hinterfuss (Ferse) in der Ausgangshöhe sowie die Pelvis-Orientierung genauer analysiert. Ziel dieser Arbeit ist, den Novizen- oder sogenannten HobbyläuferInnen durch ein visuell-kinetisches Feedback den Vorwärtszyklus beim Laufen beizubringen. Die Probanden der Studiengruppe lernen eine bessere Lauftechnik durch ein kombiniertes Feedback im Vergleich zum simplen Videofeedback und Überlappung (Supposition), deren Kurvenverlauf mit der Expertenkurve verglichen wird, während sich die Probanden auf einem Laufband fortbewegen und durch den OptiTrack aufgenommen werden. Das Bewegungssensorsystem mit 16 Kameras analysiert gemeinsam mit einem spezifischen Computer-Programm die Probanden. Dabei versuchen die TeilnehmerInnen die Technik des Fersenlaufens so gut wie möglich auf den Vorderfuss zu verlagern und dadurch einen Vorwärtszyklus zu generieren. Mit den folgenden drei abhängigen Variablen wurden in dieser Arbeit die Hauptpunkte beim Laufen im Vorderzyklus gemessen und danach analysiert:

- 1.) Der Kontakt des Vorderfusses mit dem Boden (Angriff Vorderfuss)

2.) Der Ausgang des hinteren Fusses nach dem Zyklus (Ausgang Hinterfuss-Höhe)

3.) Der Beckenwinkel bei Kontakt mit dem Boden (Pelvis-Orientierung)

In dieser Arbeit gilt es herauszufinden, ob ein kombiniertes kinetisches Feedback, welches sich aus Selbstbeobachtung und einem direkten Expertenmodell zusammensetzt, als effiziente Methode zum Erlernen neuer Bewegungsmustern herauskristallisiert. Es wird ein Vergleich mit einer Kontrollgruppe mit alleinigem Videofeedback zur Verbesserung und langfristigen Erlernen des Vorwärtszyklus gezogen. Dabei wird folgende präzise Fragestellung formuliert:

- a) Führt ein kombiniertes kinetisches Feedback zu einer signifikant besseren Lauftechnik auf dem Vorderfuss im Vergleich mit einer Kontrollgruppe in den drei Hauptpunkten Angriffshöhe des Vorderfusses, Ausgangshöhe des Hinterfusses und der Pelvis-Orientierung im Laufzyklus?

Um die formulierte Fragestellung wissenschaftlich zu überprüfen, wurde die nachfolgenden Hypothesen aufgestellt:

- H0: Ein kombiniertes kinetisches Feedback erhöht das langfristige Erlernen des Vorwärtszyklus beim Laufen nicht signifikant mehr als bei der Kontrollgruppe mit Videofeedback.
- H1: Ein kombiniertes kinetisches Feedback erhöht das langfristige Erlernen des Vorwärtszyklus signifikant mehr als bei der Kontrollgruppe mit dem Videofeedback.

2 Methode

Durch die Analyse der drei gewählten Messpunkte sollten die Novizen mit Hilfe eines visuell-kinetischen Feedbacks im Stande sein, die motorische Bewegung durch das Nachahmen einer auf eine Leinwand projizierten Expertenbewegung, eine bessere Lauftechnik erlernen zu können. Anhand des OptiTrack-Bewegungssensors wurden die Probanden und deren Bewegungen aufgezeichnet. Im Labor der Universität Freiburg wurde der Bewegungssensor OptiTrack für das motorische Lernen mit direkter visueller Rückmeldung in einer 3D-Dimension eingesetzt.

2.1 Gruppen und Probanden

w/m	Alter	Grösse	Gruppe	km/h	w/m	Alter	Grösse	Gruppe	km/h
w	29	170	v	8-9km/h	w	34	170	k	8-9km/h
w	21	169	v	8-9km/h	w	22	170	k	8-9km/h
w	24	165	v	8-9km/h	m	54	173	k	8-9km/h
w	24	167	v	8-9km/h	w	23	158	k	8-9km/h
m	21	198	v	10-11km/h	w	25	170	k	8-9km/h
m	24	183	v	10-11km/h	m	25	183	k	10-11km/h
w	26	167	v	10-11km/h	m	27	180	k	10-11km/h
m	25	173	v	10-11km/h	m	36	185	k	12-13km/h

Abbildung 4. Zufällige Probandeneinteilung durch den Fragebogen der beiden Gruppen. Alters-Mittelwert Gruppe_k: 30 ± 0.75 , Gruppe_v: 24 ± 0.25 . Legende. m=männlich. w=weiblich. v=Kontrollgruppe. k=Feedbackgruppe.

Die beiden Gruppen, Feedbackgruppe (k) mit n=9 Probanden und Kontrollgruppe (v) n=8 Probanden (ohne Feedback), wurden durch eine zufällige Verteilungsmethode eingeteilt. Jede Gruppe beinhaltet drei Leistungsniveaus, welche mittels der Laufgeschwindigkeit eingeteilt wurden.

2.2 Vorbereitung Experiment

Das Experiment der Studie lehnt sich an einen Sportpsychologieworkshop an. Die Idee wurde durch Literatur präzise erarbeitet und in einem Rahmen der Masterarbeit weitergeführt. Die Beobachtungen haben gezeigt, dass tatsächlich positive Effekte durch ähnliche Rückmeldung erzielt werden konnten. Deswegen wurden Probanden für die Intervention rekrutiert und im Labor der Bewegungswissenschaften alles für die Durchführung bereitgestellt. Nach dem

Erstellen der Problematik im Gebiet des Erlernens von motorischen Bewegungen, wurde die Anwendung auf dem Computer programmiert, damit das kombinierte Feedback zwischen Novizen und Experten stattfinden konnte. Ein weiterer vorbereitender Schritt stellte die Gruppeneinteilung durch einen Fragebogen dar, sowie die Erklärung des Vorwärtszyklus des Laufens durch einen Flyer für die Probanden.

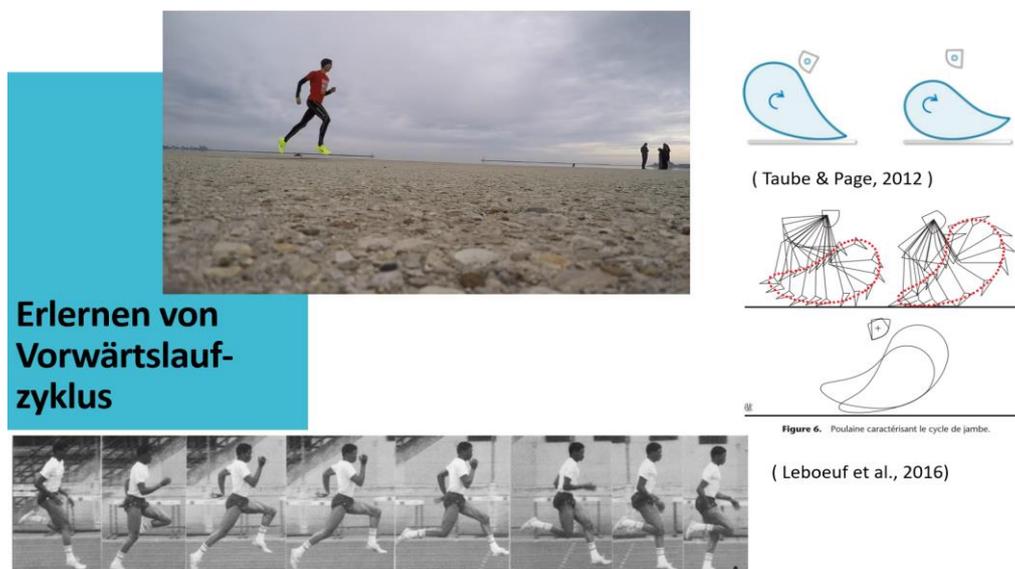


Abbildung 6. Diese Powerpoint-Präsentation wurde den Probanden der Non-Feedbackgruppe (Kontrollgruppe) jeweils vor jeder Session des Experiments gezeigt.

2.3 Studiendesign

Das Studiendesign verfügt über drei Hauptschritte; (1) Präparation: In der ersten Phase wurden vier Experten im Vorwärtszyklus beim Laufen auf einem Laufband aufgenommen und deren Technik als Idealform registriert. Die Experten mussten dabei im März 2019 bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 10 km/h im Vorderzyklus auf dem Laufband bei einer Steigung von 1% laufen, wobei alle 10 Sekunden die Geschwindigkeit um 0.2 km/h erhöht wurde bis der maximale Geschwindigkeitswert von 16 km/h erreicht wurde. (2) In der zweiten Phase wurde aus den einzelnen selektionierten Laufzyklen der Experten die Besten herausfiltriert und bei 8, 10, 12 und 14 km/h aufgezeichnet. Mit den gesammelten Daten wurde das direkte visuell-kinetische Feedback (Box-Plot) generiert, welches als Vorlage für die Novizen dient. Die Hobbyläufer sollten sich so gut wie möglich an die Expertengrafiken annähern. Das Ziel war es, bei einer konstanten Geschwindigkeit den Vorwärtszyklus so gut wie möglich zu reproduzieren und sich von einem Rückwärtszyklus wegzubewegen. Die Hauptaufgabe der Probanden war es, durch das gegebene Feedback von einem Fersenkontakt auf einen Vorderfusskontakt mit dem Boden

zu wechseln. Die Datenerhebung wurde in einem Prä- und Posttest festgehalten, wobei die Testpersonen im April 2019 einen Prä-Test nach einem Aufwärmen und erstmaligen Erklären des Vorwärtszyklus ohne Feedback-Modell absolvieren mussten. Danach kamen die Probanden fünfmal für 20 Minuten auf das Laufband. Zum Erlernen der motorischen Bewegung diente das direkte visuell-kinetische Feedback als Hilfe. Der Post-Test wurde Ende April 2019 durch einen sogenannten Post-Retentionstest in einer einmaligen Sitzung von 20 Minuten nach der ersten Phase des neuen Bewegungsmusters des Vorderzyklus durchgeführt. An dieser Stelle wurde nur ein Videofeedback gezeigt und erörtert, ob tatsächlich ein Bewegungslernen stattgefunden hat und die Probanden eine Verbesserung der Lauftechnik hervorrufen konnten. (3) In der letzten Phase ging es darum, die zwei Niveaugruppen an je fünf Probanden mit der Kontrollgruppe $n=8$ durch einen statistischen gepaarten t-Test zu vergleichen. Es sollte gezeigt werden, dass das direkte visuell-kinetische Feedback im Vergleich mit einer Kontrollgruppe zu einer signifikant besseren Lauftechnik auf dem Vorderfuß führen sollte. Das Experiment wurde durch den sogenannten OptiTrack, einem Sechszehnkamera-Bewegungsanalysesystem, aufgezeichnet. Mit den folgenden drei Variablen wurden in der Arbeit die Hauptpunkte beim Laufen im Vorderzyklus gemessen und danach analysiert. Dabei handelte es sich um den Kontakt des Vorderfußes mit dem Boden (Angriff Vorderfuß), dem Ausgang des hinteren Fußes nach dem Zyklus (Ausgang Hinterfuß-Höhe) und um den Beckenwinkel bei Kontakt mit dem Boden (Pelvis-Orientierung). Die statistische Auswertung verläuft durch einen Vergleich des Videofeedbacks der Kontrollgruppe und dem kinetischen Feedback der beiden Probandengruppen. Hierfür wurde ein t-Test mit gleicher Varianz angewendet.

2.3.1 Experimentverfahren. Als erstes wurde der Raum kalibriert, damit die Bewegungssensoren überhaupt durch die Infrarotkameras wahrgenommen werden konnten. Im Anschluss wurden die Probanden mit dem nötigen Material ausgestattet und ein allgemeines Aufwärmen der Gelenke im Vorbereitungsraum durchgeführt, bevor es auf das Laufband ging. Zum weiteren Teil des Experiments wurde ein Prä-Test während 90 Sekunden aufgenommen und von da an wurden bei den Sessionen 1-4 jeweils vier Mal vier Minuten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten von den Probanden versucht, die neue Bewegung mit oder ohne Feedback zu erlernen. Der Post-Test fand in Session 4 statt. In der letzten Sitzung sollte nach einem Aufwärmen das Gelernte von den Probanden in Form eines Retentionstest umgesetzt werden. Das Protokoll mit allen detaillierten Schritten findet sich im Anhang wieder. Die Reihenfolge des Verfahrens und der Aufnahme des gewünschten Vorwärtszyklus wurde in fünf Teilschritten vorgenommen (siehe Abb. 6). Der Ablauf des Bewegungssensors gestaltet sich in fünf

Teilschritten. Als erstes wird die Bewegung des Probanden durch den OptiTrack erfasst. Die Anwendung des Bewegungssimulators besteht ausserdem aus sechszehn Kameras und nimmt die Bewegungen den Lernenden durch einundzwanzig Marker wahr. Die Marker ermöglichen dem Computer-Programm eine Rekonstruktion des Probandenskelettmodells zu erstellen. Durch die Interaktion von zwei Computern kommt es zum Zusammenspiel vom virtuellen Experten und dem realen Probanden. Die Gesamtbewegungen werden auf einen Bildschirm projiziert und schliesslich kommt es so zur Bewegungssynthese.

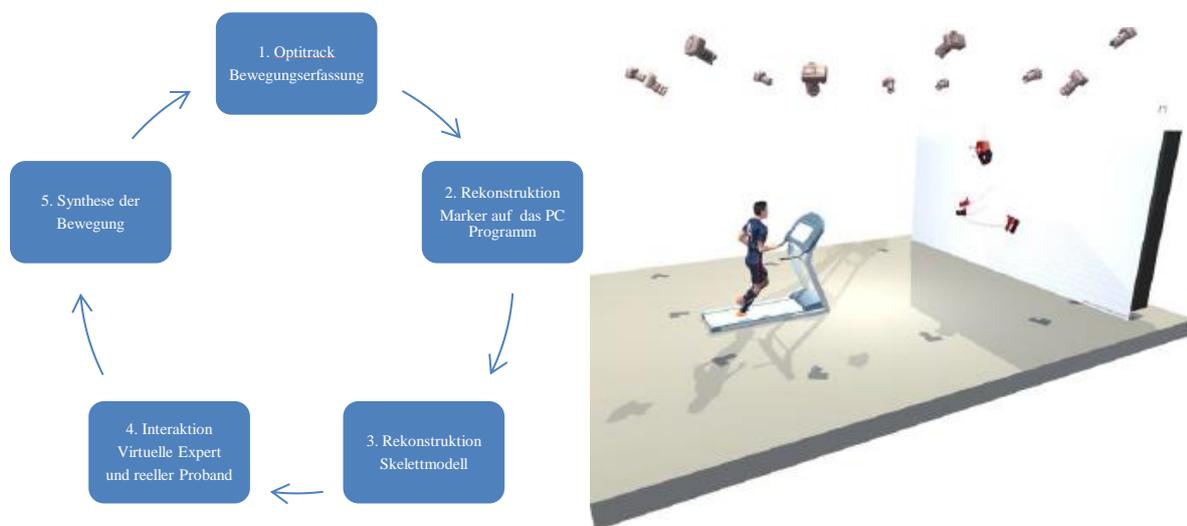


Abbildung 6. Links: Prozedere des Bewegungssensors in fünf Schritten. Rechts: Läufer auf dem Laufband vor dem direkt virtuellen Feedback auf der Leinwand zum Erlernen der motorischen Bewegung durch Propriozeption. (Le Naour, 2018)

2.3.2 Material. Für das Experiment wurden vor allem zwei Hauptwerkzeuge für das Bewegungserlernen verwendet. Dabei handelt es sich um eine Bewegungserfassung durch ein Bewegungsanalysesystem, welches mit Hilfe von 16 Kameras und 20 Bewegungsmarkern, welche an den unteren Extremitäten und dem Becken angebracht werden, die Bewegungen der Probanden aufnimmt. Die Rückmeldung erfolgt in der virtuellen Realität und wird mit Hilfe des direkten visuell-kinetischen Feedbacks generiert. Zur Analyse und Visualisierung von den kinematischen Daten wird CapLab (PC-Programm) zum Erlernen der Bewegungsgesten gebraucht. Für den Beschrieb der Grösse müssen zuerst die abhängigen Variablen definiert werden, was in diesem Fall den drei Messpunkten Fusshöhe am Anfang (Vorderfuss) und Ende des Zyklus (Hinterfuss) und der Beckenorientierung bzw. dem Winkel des Beckens entspricht. Wie bereits oben erwähnt, wurde die Messung durch den Bewegungssensor OptiTrack erfasst und die Daten sogleich für die Bewegungssynthese der Probanden verarbeitet, die sich am Expertenmodell so

gut wie möglich anpassen sollten. Weiterer Bestandteil der Ausrüstung sind 16 Infrarotkameras, welche durch die Motive Software (Optical motion capture software) und einer Frequenz von 120 Hz gesteuert werden. Die Messgenauigkeit der Marker beträgt <1 mm und in den Gelenkpositionen <3 cm. Der OptiTrack ist für die virtuelle Rekonstruktion einer Trajektion von 3D-Markern im Zeitverlauf zuständig, wobei durch die Aufnahme der Marker am Probanden ein Skelett generiert wird. Das CapLab Computer-Programm hingegen ermöglicht die Wiedergabe von kinematischen Daten, liefert und extrahiert die kinematischen Informationen der Bewegungen. Das Programm ermöglicht die Filtration und die Bearbeitung der Bewegungen.

2.3.3 Feedback-Anzeige Experiment. Zur Feedback-Anzeige wurde eine virtuelle Grafik mit der gleichzeitigen Selbstbeobachtung des Probanden und der Expertenbewegung erstellt. Zum Vorwärts- und Rückwärtszyklus in der Grafik befindet sich in grün das Expertenmodell (Vorwärtszyklus) mit deren Kurvenverlauf. In rosa wird die Kurve der Probanden an den drei Messpunkten am Aufprall des Vorderfusses, der Ausgangshöhe des Hinterfusses und die Beckenorientierung zum Erlernen der Bewegung wiedergegeben.



Abbildung 7. Drei Probanden mit dem direkten visuell-kinetischen Feedback für die drei Messpunkte. Von links nach rechts: Vorderfusshöhe, Pelvis/Becken-Orientierung und Hinterfussausgangshöhe. Datenerhebung der Probanden mit OptiTrack in der experimentellen Szenerie im Labor von Fribourg.

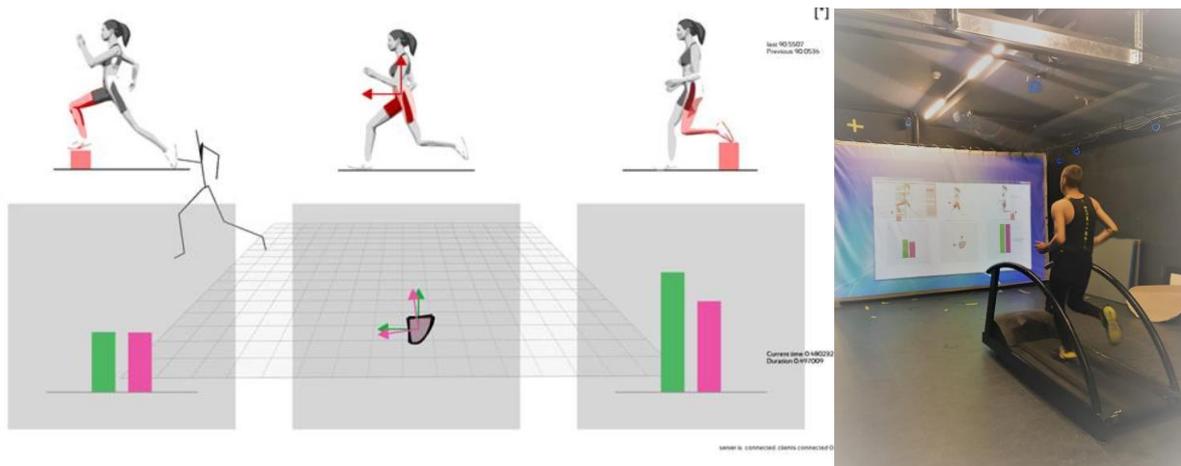


Abbildung 8. Links: In der virtuellen Grafik sind in grün die Experten-Kurven und in rosa die kinetischen Daten der Probanden dargestellt. (Le Naour, 2019). Rechts: Ein Proband vor dem direkten visuell-kinetischen Feedback im Labor auf dem Laufband.

Für das Experiment wurden keine zusätzlichen Effekte in Form eines Filters verwendet. Die Grösse des Laufzyklus wurde jedoch vom Experten dem Teilnehmer angepasst, um die beiden Kurven so gut wie möglich zu synchronisieren. Um die Aufgabe der Probanden zu erleichtern, wurde die Bewegung des Experten um einige Sekunden nach vorne verschoben, damit die Probanden mehr Zeit für einen Vergleich und eine bessere Darstellung des Modells erhielten. Wie bereits erwähnt, wurden für das Experiment das Bewegungssensoranalyse-System OptiTrack sowie CapLab für die Analysierung und Visualisierung der kinematischen Daten zur Erlernung der neuen Bewegungsmuster verwendet.

3 Resultate

Die Daten des Experimentes wurden für die Validierung der Voraussetzungen als Erstes auf ihre Homogenität der Varianz und deren Normalität geprüft. In einem zweiten Schritt wurden mehrere Vergleiche von Mittelwerten in Form eines t-Test durchgeführt. Die Mittelwerte der Kontrollgruppe und der Experimentgruppe s1 bis s5 wurden mittels eines Zweistichproben-t-Test gleicher Varianzen untersucht und untereinander verglichen. Die Signifikanz macht deutlich, dass zwischen zwei Variablen aus einer Stichprobe nicht nur zufällig ein Zusammenhang besteht, sondern auch für die Grundgesamtheit zutrifft und durch die Teststatistik geprüft wird. Mit einem einseitigen t-Test mit Signifikanzniveau α 0.05 wird das Verhalten der Grundgesamtheit analysiert. Dies liefert jedoch keinen eindeutigen Beweis für die Signifikanz der Stichprobendaten.

3.1 Normalitätstest

Zur Überprüfung der Normalverteilung einer Stichprobe, wird im R-Studio der Shapiro-Wilk-Test angewendet, um damit die p-Werte zu berechnen. Mit dem Signifikanzniveau von $p=0.05$ wird die Normalität der Daten überprüft. Falls dieser Wert überschritten werden sollte, handelt es sich um eine Normalverteilung. In den drei analysierten Stichproben wurde in einem von drei Fällen eine Normalverteilung festgestellt. Die Analyse der Vorderfusshöhe hat mit einem p-Wert von <0.01 klarerweise keine Normalverteilung gezeigt. Bei der Hinterfussanalyse konnte ein p-Wert von 0.04 eruiert und somit abermals keine Datennormalverteilung festgestellt werden. Im Gegensatz dazu konnte in der Beckenorientierung mit einem aussagekräftigen p-Wert von 0.13 eine Normalverteilung der Daten festgehalten werden.

3.2 Homogenitätstest

Zur weiteren Daten-Analyse wird im R-Studio ein Levene-Test zur Überprüfung der Homogenität durchgeführt. Mit einem Signifikanzniveau von 5% werden die p-Werte der Stichproben analysiert und wiederum eingestuft. Bei diesem Test geht es um die Gleichheit der Varianz. In Bezug auf die R-Studio-Tabelle erkennt man beim Vorderfuss-Datensatz einen non-signifikanten p-Wert von 0.01, dementsprechend ist der Wert heterogen. Die anderen beiden Gruppen Hinterfuss-Datensatz $p >0.43$ und Pelvis-Orientierung $p >0.29$ zeigen eine Homogenität der Varianz auf, d.h. die Werte sind homogen.

```

print(leveneTest(myData$frontFoot,myData$group,center=median))
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value  Pr(>F)
group  1  7.0578 0.009187 **
      100
print(leveneTest(myData$backFoot,myData$group,center=median))
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value Pr(>F)
group  1  0.616 0.4344
      100
print(leveneTest(myData$pelvisorientation,myData$group,center=median))
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)

      Df F value Pr(>F)
group  1  1.1181 0.2929
      100
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Abbildung 9. Homogenität der drei Messpunkte im R-Studio.

Die grafischen Darstellungen die in Form verschiedener Boxplots aufgezeigt werden, dienen dazu, in einer deskriptiven Analyse eine gute Übersicht über die Daten zu ermöglichen, die von einer statistischen Analyse komplettiert wird. In Abb. 10 (frontFoot) sind alle Werte der Vorderfusshöhe über sämtliche Sessionen zwischen der Feedbackgruppe (k) und der Kontrollgruppe (v) grafisch dargestellt. Man erkennt eine grössere Streuung der Varianz in der k-Gruppe als in der v-Gruppe, was mit der kleinen Stichgruppengrösse $n=9$ (k) und $n=8$ (v) zusammenhängen könnte. Der Median entspricht dem Zentralwert der Daten und liegt in beiden Gruppen nahe beieinander. Demnach entspricht das einer ähnlichen Verteilung der Daten, obwohl die Varianz der Daten unterschiedlich gross ist. Nach einem statistischen T-Testverfahren kam es beim Vorderfuss (frontFoot) zum p-Wert von 0.09 und t-Wert von 1.42. Damit liegt der Wert oberhalb von 0.05, der sogenannten Signifikanzschwelle, womit man eine knappe nicht-signifikante Unterscheidung der beiden Gruppen über alle Messdaten im Experiment hinweg erkennt. Dies könnte durch eine grössere Varianz von Anfang an erklärt werden.

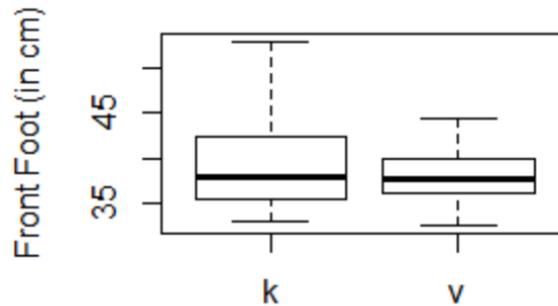


Abbildung 10. Grafische Boxplot-Darstellung der Varianz aller Werte der Vorderfusshöhe über alle Sessionen zwischen der Feedbackgruppe (k) und der Kontrollgruppe (v).

Bei der Betrachtung der beiden untenstehenden Boxplot-Darstellungen (Abb. 11), geht es um die Verteilung der Gesamtdaten aller Sessionen der Feedbackgruppe (k) und der Kontrollgruppe (v) beim Hinterfuss und der Pelvisorientierung. Man erkennt von Anfang an ebenfalls einen Unterschied der Varianzen durch eine deskriptive Analyse. Mit sogenannten Outlayern oder Ausreißern, befinden sich die Datenpunkte in diesem Fall ausserhalb der Hauptdatenmengen des oberen Interquartilsbereichs. In beiden Grafiken kann angesichts der Gesamtdatenanalyse eine unterschiedliche Datenverteilung beobachtet werden. Die statistische Analyse hat jedoch gezeigt, dass die Unterschiede durch die jeweiligen p-Werte signifikant abgesichert sind. Bei der Backfoot-Untersuchung wurde ein p-Wert von <0.001 mit dem t-Wert von -8.44 eruiert, womit über die Gesamtdaten ein signifikanter Unterschied festzustellen ist. Bei der Pelvis-Orientierung sieht es mit einem p-Wert von <0.001 und einem t-Wert von 6.30 ähnlich aus. Dies kann auch durch die verschiedenen Leistungsniveaus und einer zu kleinen Stichprobenmenge begründet werden.

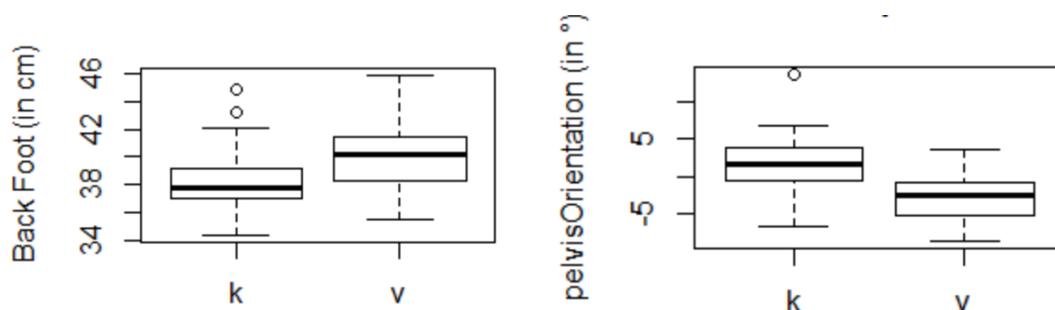


Abbildung 11. Hinterfuss-Verteilung in beiden Gruppen über alle Sessionen und Winkelgrad der Beckenorientierung in der Feedback- und Kontrollgruppe. *Legende.* Backfoot_k=alle Werte der Hinterfusshöhe im Zyklusausgang der Feedbackgruppe. Pelvis_Orientierung_k=Winkelgrad über alle Sessionen der Feedbackgruppe. Backfoot_v=Hinterfusshöhe der Kontrollgruppe. Pelvis_Orientierung_v=Winkelgrad der Beckenorientierung über alle Sessionen in der Kontrollgruppe.

An erster Stelle wird eine deskriptive Analyse angestrebt und in einem zweiten Schritt eine statistische Datenanalyse mit Signifikanzschwellen durchgeführt. Mit den untenstehenden Grafiken Abb. 12 und 13 wird ein Entwicklungsverlauf der Vorderfusshöhe von S1 bis S5 von den Probanden 1-9 (mit Feedback) und 1-8 (ohne Feedback) aufgezeigt. Wenn man die Kurve front_k_s1 (dunkelblau) mit der Kurve front_k_s5 (orange) vergleicht, erkennt man eine Erhöhung der Vorderfusshöhe und somit eine klare Verbesserung der Vorderfussposition bei allen Teilnehmern, mit Ausnahme von Proband 4.

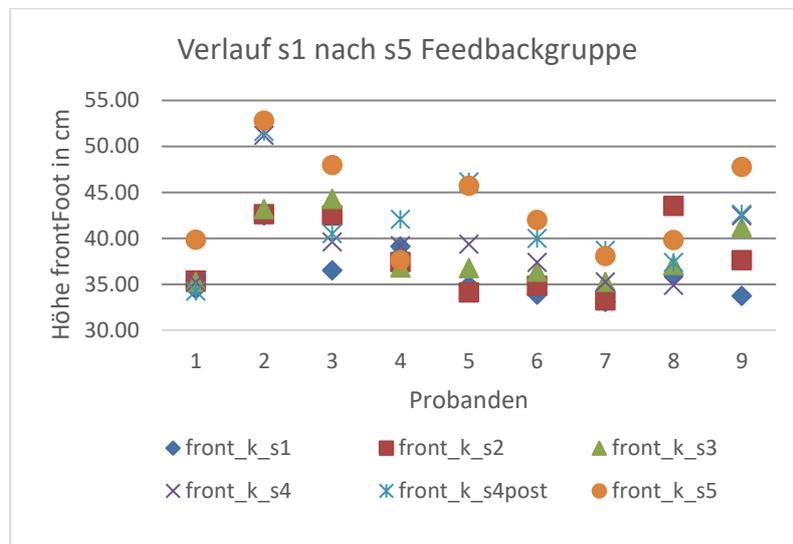


Abbildung 12. Der Verlauf der Sessionen 1-5 der Feedbackgruppe beim Aufprall des Vorderfusses bei allen Probanden n=9. *Legende.* Front_k_s1_s2_s3_s4=Vorderfusshöhe in cm in den Sessionen 1 bis 4 der Feedbackgruppe. Front_k_s4post=Post-Session 4 der Feedbackgruppe in Bezug auf die Vorderfusshöhe in cm. Front_k_s5=Retention Session 5 der Feedbackprobanden.

Bei der Betrachtung der Kontrollgruppe in Abb. 13 erkennt man zudem eine generelle Verbesserung der Vorderfusspositionierung in Bezug auf die Höhe in cm. Dennoch kommen die Probanden der Kontrollgruppe im Vergleich zur Feedbackgruppe weniger hoch, was dem erwarteten Wert entspricht.

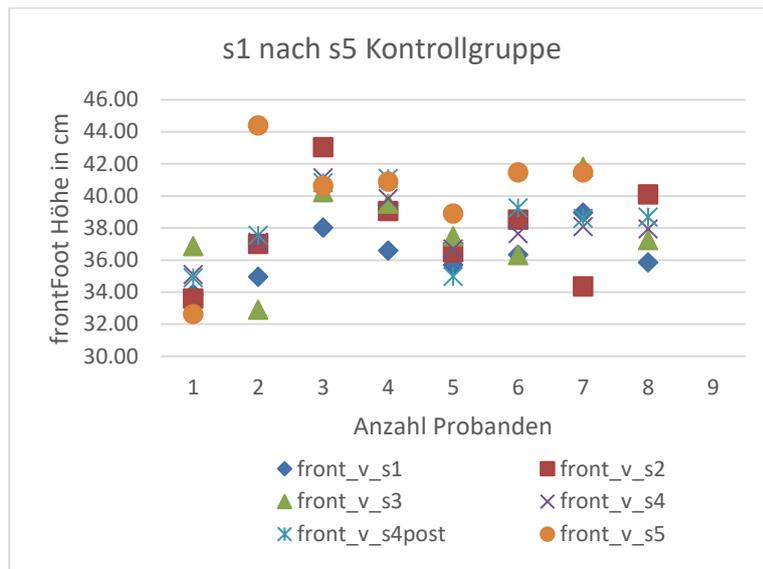


Abbildung 13. Der Verlauf der Sessions 1-5 der Kontrollgruppe beim Aufprall des Vorderfusses in der Gesamtheit der Probanden. *Legende.* Front_v_s1_s2_s3_s4=Vorderfusshöhe in cm in den Sessions 1 bis 4. Front_v_s4post=Vorderfusshöhe in cm bei Post-Session-4. Front_v_s5=Retention der Vorderfusshöhe Session 5.

Durch die Analyse der Werte der Vorderfusshöhe in der Feedbackgruppe, wird beobachtet, dass die Probanden 1-9 ohne jegliches Feedback einen unterschiedlichen Anfangswert in S1 aufgezeigt haben. Nach der Postphase S4 sollte der Wert theoretisch höher als am Anfang des Experiments sein, was anscheinend bis auf eine auch Person zutrifft.

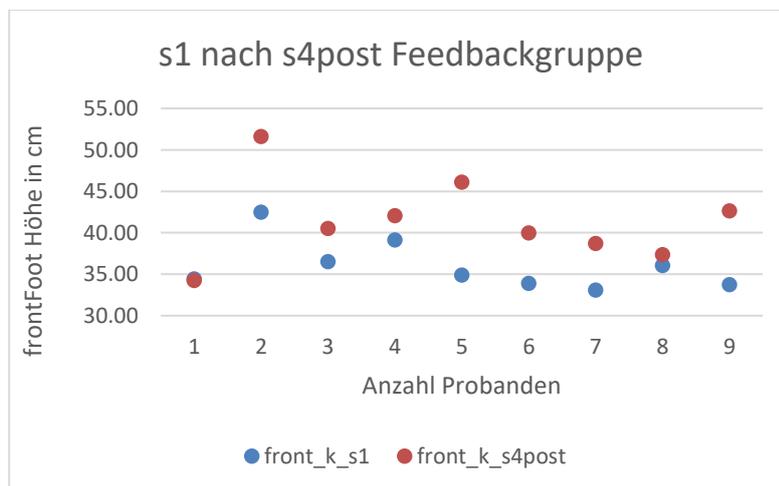


Abbildung 14. S1 nach S4post-Verlauf der Feedbackgruppe. *Legende.* Front_k_s1=Vorderfusshöhe der Feedbackgruppe Session 1. Front_k_s4post=Vorderfusshöhe in cm der Feedbackgruppe Post-Session 4.

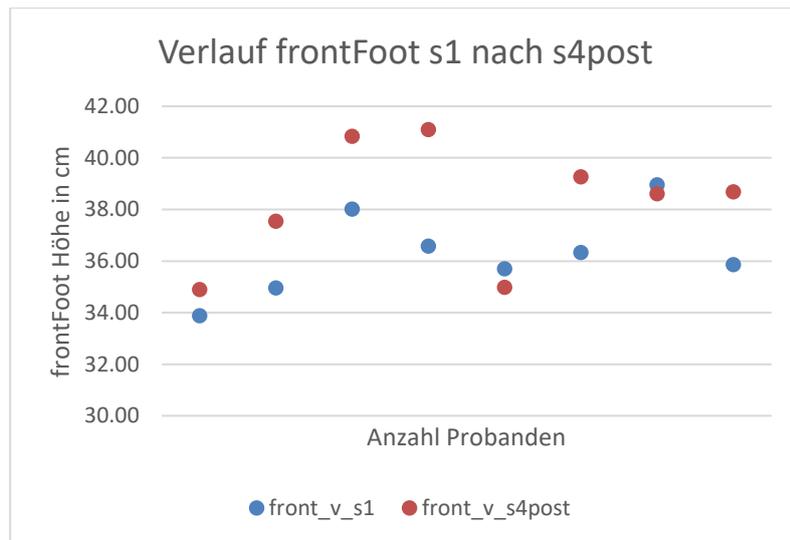


Abbildung 15. Verlauf des Prä- und Posttests der Kontrollgruppe (Videofeedback). *Legende.* Front_v_s1=Vorderfusshöhe in cm der Kontrollgruppe Session 1. Front_v_s4post=Vorderfusshöhe in cm der Kontrollgruppe Post-Session 4.

Im Fall der Kontrollgruppe haben sich - bis auf zwei Probanden - im Angriff alle in der Vorderfusshöhe verbessern können. Das könnte damit zu tun haben, dass diese Technik, im Vergleich zu den anderen beiden Messpunkten, am einfachsten zu verbessern war. Durch ständiges Wiederholen der gleichen Bewegung kann ein natürlicher Lerneffekt manifestiert werden.

In den folgenden sechs Tabellen werden jeweils zwei Mittelwerte durch einen t-Test mit gleicher Varianz und unterschiedlichen Stichproben analysiert. Der t-Test aus zwei unterschiedlichen Gruppen zeigt an, ob sich die zwei ausgewählten Mittelwerte signifikant unterscheiden oder nur zufällig voneinander abweichen. Falls der p-Wert <0.05 liegt, spricht man von einer Signifikanz der Unterschiede. In Tabelle 1 wurde ein ungepaarter t-Test einzeln in den drei Kernpunkten zwischen der Kontroll- und Feedbackgruppe angewendet, um zu vergleichen, ob die Gruppen unterschiedlich sind. Bei frontFoot gibt es mit einem p-Wert von 0.41 keinen signifikanten Unterschied der beiden Gruppen. Bei den anderen beiden Messgruppen backFoot und Pelvis-Orientierung wird jedoch schon von Anfang an, mit p-Wert von 0.01, ein signifikanter Unterschied festgestellt. Dies kann auf zu kleine Stichproben sowie eine zu schlechte Einschätzung der Probanden über ihr Laufniveau zurückgeführt werden.

Tabelle 1

t-Test Analyse zwischen Vorderfuss, Hinterfuss und Pelvis-Orientierung zwischen der Feedbackgruppe und der Kontrollgruppe in S1

Analyse s1	frontFoot_k	frontFoot_v	backFoot_k	backFoot_v	pelvis_k	pelvis_v
t-Statistik	-0.22		-2.51		2.44	
MW	36.02	36.28	37.31	39.66	-0.16	-4.24
P(T<=t) einseitig	0.41		0.01		0.01	
FG	12.00		15.00		15.00	

Anmerkung. MW=Mittelwert. FG=Freiheitsgrad.

In Tabelle 2 werden die Werte des t-Tests des Prä-Tests, welche der ersten Session ohne Feedback der Lernphase entsprechen, in allen drei Messpunkten mit dem Post-Test (s4post) der Kontrollgruppe (v) und der Feedbackgruppe (k) verglichen. Bei der Progressionsverlaufsanalyse der Kontrollgruppe wurden folgenden Werte festgestellt: Der Statistik t-Wert ist signifikant, da er bei -1.94 mit p-Wert von 0.04 Unterschied zwischen dem Prä- und Post in der frontFoot-Analyse der Kontrollgruppe liegt. Bei den anderen beiden t-Test-Werten wurde mit p-Wert 0.29 für backFoot und p-Wert 0.18 für die Pelvis-Orientierung und p-Wert >0.05 als Indikator der Intervallkoeffizient keine signifikante Differenz zwischen den Sessionen s1 und s4post gefunden. Die beiden Werte sind somit nicht signifikant und es kam in allen drei Messpunkten zu keiner repräsentativen Verbesserung. Bei der Datenanalyse der Feedbackgruppe sieht es zwischen dem Prä- und Posttest ähnlich wie bei der Kontrollgruppe aus. Jedoch ist hier anhand der t-Statistik -2.76 und des p-Wertes von 0.01 beim frontFoot eine höhere Signifikanz zu beobachten. Die Unterschiede der backFoot mit p-Wert 0.19 und Pelvis-Orientierung p-Wert 0.13 sind im Vergleich zur Kontrollgruppe auch kleiner und näher am Signifikanzkoeffizienten. Bei der Analyse der beiden Gruppen wird daher in der Vorderfusshöhe in cm ein signifikanter Unterschied festgestellt. In den anderen beiden Fällen und Gruppen wurden keine signifikanten Resultate gefunden. Immerhin waren die Werte nach dem visuell-biokinetischen Feedback näher an p=0.05 als die Kontrollgruppe.

Tabelle 2

Progressionsverlauf zwischen s1 und s4post in s1 der Kontrollgruppe(v) und der Feedbackgruppe (k) ohne Retention

Analyse s1, s4post	front_s1_v	front_s4post_v	back_s1_v	back_s4post_v	pelvis_s1_v	pel- vis_s4post_v
t-Statistik	-1.94		-0.57		-0.96	
MW	36.28	38.24	39.66	40.30	-4.24	-2.73
P(T<=t) ein- seitig	0.04		0.29		0.18	
FG	12.00		11.00		14.00	

Analyse s1, s4post	front_s1_k	front_s4post_k	back_s1_k	back_s4post_k	pelvis_s1_k	pel- vis_s4post_k
t-Statistik	-2.76		-0.90		-1.16	
MW	36.02	41.47	37.31	38.51	-0.16	1.71
P(T<=t) ein- seitig	0.01		0.19		0.13	
FG	13.00		14.00		16.00	

Anmerkung. MW=Mittelwert. FG=Freiheitsgrad.

In der Tabelle 3 wurde zur Überprüfung der Differenzen vom Prä-Test und nach der Lernphase bzw. der Retention, ein t-Test mit s1 und s5 durchgeführt. Die Tabelle zeigt, wie gut sich die Probanden nach den 5-mal 20 Minuten über die Zeitspanne hinweg verbessern konnten. Beim Retentionstest ging es um eine Reproduktion des Gelernten in den beiden Gruppen ohne jegliche Rückmeldung. Zur Analyse der Videogruppe (v) die als Kontrollgruppe galt, wurden folgende Resultat festgestellt: Beim Vorderfussaufprall mit p-Wert von 0.02 und dem p-Wert von 0.05 für die Pelvis-Orientierung, wurde in beiden Fällen eine repräsentative Signifikanz festgestellt. Die Höhe des Hinterfussausgangs wies mit dem p-Wert von 0.19 keinen deutlichen Unterschied auf. Im Vergleich zu den Rückmeldungsprobanden konnte mit einem p-Wert von 0.001 bei der Höhe des Vorderfussaufpralls ein signifikanter Unterschied zwischen dem Prä-Test und dem Retentionstest eruiert werden Die anderen beiden Messwerte der Hinterfusshöhe (p=0.20) und dem Beckenwinkel (p=0.10) wiesen keine signifikante Differenz auf.

Tabelle 3

t-Test s1 und s5 Unterschiede der Feedback- (biokinetisch) und Kontrollgruppe (Video)

Analyse s1, s5	front_s1_v	front_s5_v	back_s1_v	back_s5_v	pelvis_s1_v	pelvis_s5_v
t-Statistik	-2.52		-0.94		-1.76	
MW	36.28	40.06	39.66	40.85	-4.24	-1.37
P(T<=t) einseitig	0.02		0.19		0.05	
FG	8.00		9.00		13.00	

Analyse s1, s5	front_s1_k	front_s5_k	back_s1_k	back_s5_k	pelvis_s1_k	pelvis_s5_k
t-Statistik	-3.69		-0.86		-1.16	
MW	36.02	43.52	37.31	38.17	-1.31	1.89
P(T<=t) einseitig	0.001		0.20		0.10	
FG	13.00		16.00		16.00	

Anmerkung. MW=Mittelwert. FG=Freiheitsgrad.

In der Tabelle 4 wird ein ungepaarter t-Test zur Analyse der Daten von der S4Post-Session des visuellen Videos und dem visuell-kinetischen Feedback untersucht. Die Resultate zeigen beim frontFoot mit $p=0.06$ der beiden Gruppen und beim backFoot mit $p=0.12$ fast keinen signifikanten Unterschied. Bei der Beckenorientierung in Winkelgrad zeigen die Resultate einen signifikanten p-Wert von 0.01.

Tabelle 4

t-Test s4post zwischen Kontroll- und Feedbackgruppe

Analyse	front_s4post_v_k	front_s4post_v	back_s4post_k	back_s4post_v	pelvis_s4post_k	pelvis_s4post_v
t-Statistik	1.72		-1.22		2.93	
MW	41.47	38.24	38.51	40.30	1.71	-2.73
P(T<=t) einseitig	0.06		0.12		0.01	
FG	12.00		15.00		15.00	

Anmerkung. MW=Mittelwert. FG=Freiheitsgrad.

In Tabelle 5 wurde die Datenanalyse mittels eines t-Test zur Überprüfung der Differenz des Retentionstest durchgeführt. Die Resultate ergaben für den Frontfoot $p=0.07$, den Backfoot

p=0.04 und der Beckenorientierung p=0.02. In zwei von drei Fällen zeigt die Resultatanalyse eine Signifikanz. Die Feedbackgruppe hat sich im Vergleich zur Kontrollgruppe beim Hinterfuss und der Pelvis-Orientierung mit zwei p-Werten von <0.05 als Signifikanzniveau signifikant verbessert. Beim Vorderfuss ist der Unterschied zwischen den beiden Gruppen mit 0.07 knapp nicht signifikant.

Tabelle 5

t-Test Unterschied zwischen den beiden Testgruppe in s5 Retention

Analyse s5_v_k	front_s5_k	front_s5_v	back_s5_k	back_s5_v	pelvis_s5_k	pelvis_s5_v_k
t-Statistik	1.55		-2.01		2.16	
MW	43.52	40.06	38.17	40.85	1.89	-1.37
P(T<=t) einseitig	0.07		0.04		0.02	
FG	14.00		10.00		13.00	

Anmerkung. MW=Mittelwert. FG=Freiheitsgrad.

3.3 Evaluation Umfragebogen

Mit Hilfe des Evaluationsumfragebogens konnte die Meinung der Probanden und deren Empfindung in die Analyse des Experiments einfließen. Der erste Frageblock handelte im Wesentlichen von allgemeinen Fragen und erklärte den Verlauf des Experiments. In Abb. 18 erkennt man in beiden Gruppen eine gute Notengebung, die Anwendung war grösstenteils zufriedenstellend. Als bei der Evaluation nach der Nützlichkeit der angewendeten Methode gefragt wurde, waren sich sowohl die Kontroll- wie auch die Feedbackgruppe einig, dass eine solche Trainingsmethode einen positiven Lerneffekt auf das Erlernen neuer Bewegungsmuster haben kann.

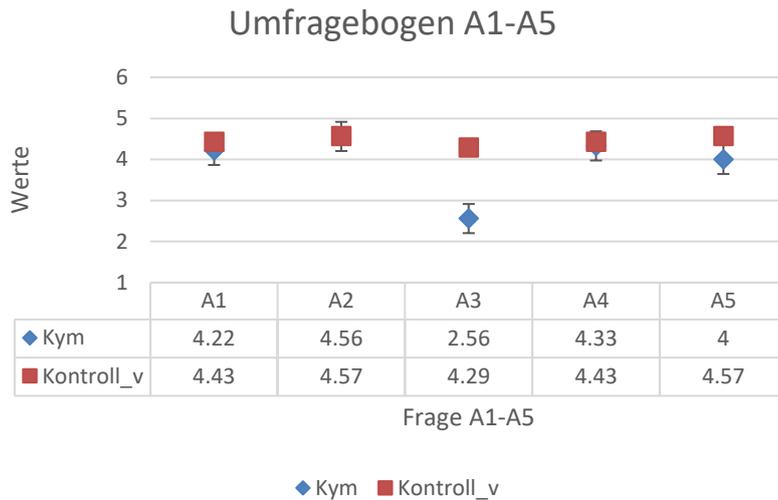


Abbildung 16. Nach dem Experiment in beiden Probandengruppen ausgefüllter Umfragebogen mit allgemeinen Fragen und ihre Mittelwerte, bei welchem die Skala 1 schlecht und 5 sehr gut bedeutet. *Legende.* Kontroll_v=Werte von einer Skala 1 bis 5 bei Umfragebogen der Kontrollgruppe. Kym_k=Feedbackgruppe und deren Evaluation der Umfragebögen.

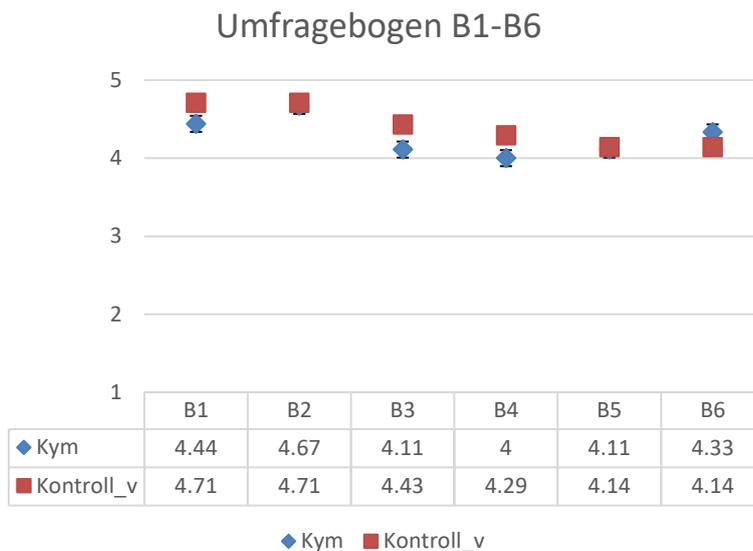


Abbildung 17. Mittelwert des Umfragebogens in beiden Gruppen zum Experiment; Feedback zur Nützlichkeit mit Fehlerindikation. *Legende.* Kontroll_v=Werte von einer Skala 1 bis 5 bei Umfragebogen der Kontrollgruppe über Nützlichkeit des Experiments. Kym_k=Feedbackgruppe und deren Evaluationsnoten.

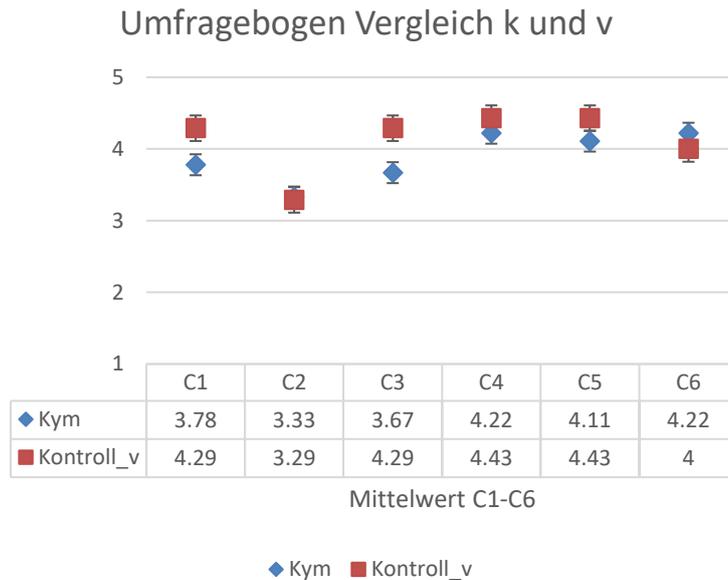


Abbildung 18. Vergleich der Gruppe und ihre Beantwortung des Fragebogens der Benutzerfreundlichkeit mit Fehlerindikation. *Legende.* Kontroll_v=Werte des Umfragebogen der Kontrollgruppe über Benutzerfreundlichkeit. Kym_k=Feedbackgruppe und deren Evaluation auf einer Skala von 1 bis 5.

Wenn man die Kontrollgruppe (v) mit der Feedbackgruppe (k) vergleicht, wird in Abb. 20 erkennbar, dass die v-Gruppe, bis auf zwei Fragen über die Benutzerfreundlichkeit, im Durchschnitt eine höhere Punktzahl verteilt hat als die k-Gruppe. Dies könnte einerseits an ihrer einfacheren Aufgabestellung liegen oder aber mit der benutzerfreundlicheren Anwendung des Feedbacks, wie in Abb. 21 aufgezeigt wird. Die Probanden der beiden Gruppen scheinen laut Umfragebogen bei der Anwendung des erhaltenen Rückmeldungsmodells etwas gelernt zu haben, und würden diese Art von Feedback auch für andere Sportarten weiterempfehlen. Erneut fällt auf, dass die v-Gruppe in zwei von drei Fällen eine bessere Punktevergabe erteilt hat als die k-Gruppe, was mit deren niedrigen Anfangsniveau erklärt werden könnte.

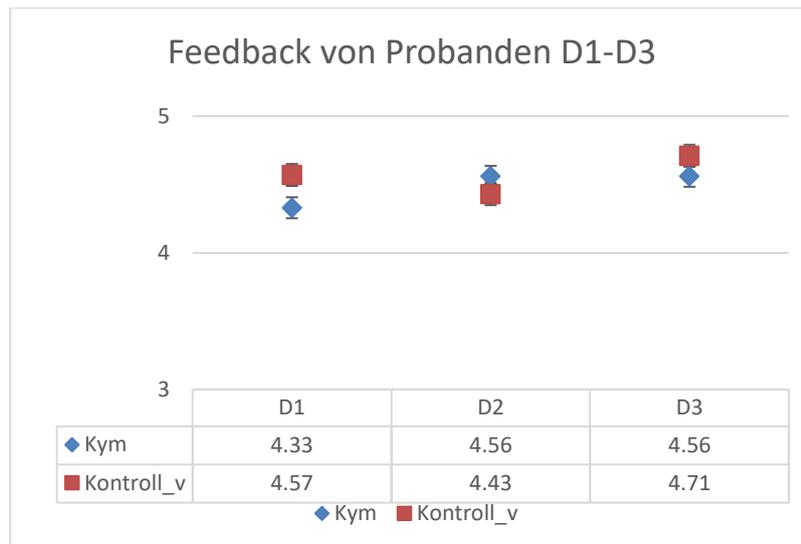


Abbildung 19. Mittelwert der Fragen, ob die Probanden durch die Anwendung des Feedbacks in der Gruppe etwas gelernt haben. *Legende.* Kontroll_v=Werte der Kontrollgruppe die Anwendung des Videofeedback. Kym_k=Feedbackgruppe und deren Evaluation der Feedbackanwendung.

4 Diskussion

In diesem Experiment wurde der Effekt des Lernfortschritts von einer Feedbackmethode auf eine Laufgruppe mit drei unterschiedlichen Leistungsniveaus und einer Kontrollgruppe verglichen. Dabei wurde die Höhe des Vorderfussaufpralls und dem Hinterfussausgang sowie die Pelvis-Orientierung durch ein 16-Kamera-Bewegungsanalysesystem (OptiTrack) mit Markern getrackt und somit gemessen. Wenn man die Resultate betrachtet, ist gut erkennbar, dass in beiden Gruppen die Höhe des Aufpralls des Vorderfusses am besten verbessert wurde. Scheinbar fiel es den Probanden am leichtesten, sich nur auf den Vorderfussaufprall zu konzentrieren, als bspw. auf die Beckenorientierung. In der Beckenorientierung konnte mit einem p-Wert von 0.13 eine Normalverteilung der Daten festgehalten werden, in den beiden anderen Messpunkten jedoch nicht. Nur zwei (backFoot $p > 0.43$, PelvisOrientierung $p > 0.29$) der drei untersuchten Punkte waren homogen und eine Gruppe (frontFoot) war mit einem p-Wert von < 0.01 heterogen. In den Ergebnissen wurde ein signifikanter Wert für den Fussangriff (frontFoot) mit $p = 0.01$ zwischen dem Prä- und Posttest des Experiments in der Feedbackgruppe eruiert. So konnten die Teilnehmer mit Hilfe des kombinierten Feedbackmodells, diesen wichtigen Parameter für einen Vorwärtszyklus mit der optimalen Höhe des Vorderfussangriffs verbessern. Was die anderen Datenanalysen betrifft, konnten keine konkreten Schlussfolgerungen gezogen werden, da nach der statistischen Überprüfung keine signifikanten Ergebnisse beobachtet werden konnten. Der backFoot mit $p = 0.19$ und die Pelvisorientierung mit $p = 0.13$ sind im Vergleich mit der Kontrollgruppe näher an der Signifikanzschwelle, da diese backFoot von $p = 0.29$ und Pelvisorientierung von $p = 0.18$ aufweisen. Die Resultate einer Abnahme der Fusshöhe am Ende des Zyklus wie auch der Beckenwinkel zeigen keine Anzeichen von signifikanten Ergebnissen. Auf dem Boxplot kann man die Unterschiede beider Gruppen gut erkennen; dennoch kann angenommen werden, dass die Feedbackgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe tendentiell ein bisschen besser abgeschnitten hat.

Die beiden Gruppen wurden des Weiteren über die Nützlichkeit der gewählten Methode befragt, wobei sie auf einer Skala von 1 (schlecht) bis 5 (sehr gut) entscheiden mussten. Wenn man die Resultate der Umfrageevaluation betrachtet, kann festgestellt werden, dass die Feedbackgruppe am Anfang beim Ablauf und der Funktion des Programms mit einem niedrigeren Mittelwert von 3.93 geantwortet hat als im Vergleich mit der Kontrollgruppe, die einen Durchschnittswert von 4.45 aufwies. Dies kann damit erklärt werden, dass die Handhabung des Videos für die Kontrollgruppe einfacher war. Den Probanden wurde nicht explizit aufgeführt,

welche Fehler sie während dem Laufzyklus machten, was bei der Feedbackgruppe mit der direkten Rückmeldung jedoch der Fall war, um den Lernprozess zu verbessern und zu einer adäquaten Vorwärtszyklustechnik beizutragen. Die Feedbackgruppe bewertet die Methode mit einem Durchschnittswert von 4.27 als ziemlich nützlich, wobei erstaunlicherweise auch die Kontrollgruppe mit einem leicht erhöhten Mittelwert von 4.40 geantwortet hat. Dies lässt sich damit begründen, dass das Leistungsniveau der Kontrollgruppe von Anfang schwächer war und die leistungsschwächeren Teilnehmer sich oftmals schon nur durch das regelmässige Training verbessern konnten. Bei der Frage um die Benutzerfreundlichkeit ergaben die Mittelwerte der Feedbackgruppe 3.88 und die der Kontrollgruppe lagen im Vergleich mit einem Mittelwert von 3.38 im mittleren Bereich der Skala. Oftmals wurde von den Probanden in der Kontrollgruppe während dem Experiment verbal geäußert, dass es schwierig sei, den Läufer auf dem Bildschirm nachzuahmen. Die Teilnehmer in der Feedbackgruppe fanden es äusserst hilfreich eine direkte Rückmeldung zu erhalten, um die Technik des Laufzyklus zu verbessern. Beim letzten Block der Befragung ging es darum, den positiven Lerneffekt bei der Anwendung des Programms zu evaluieren. Die Feedbackgruppe hat mit einem zufriedenstellenden Durchschnittswert von 4.48 geantwortet, was auf der Skala bis max. 5 somit als positiver Lerneffekt klassifiziert werden kann. Die Kontrollgruppe lag im Vergleich zur Feedbackgruppe mit einem Mittelwert von 4.57 sogar noch leicht darüber. Eine Erklärung für diese Resultate kann mit der nicht aufgezeigten Schwierigkeit des richtigen Vorwärtszyklus in der Kontrollgruppe begründet werden. Die Probanden mussten sich nicht gleichzeitig auf drei Messpunkte konzentrieren, sondern nur eine globale Aufgabe erfüllen, ohne weiter darüber nachdenken zu müssen. Ihr Empfinden der leichten Umsetzung, könnte einen Einfluss auf den positiven Lerneffekt gehabt haben, wie auch das bereits erwähnte niedrigere Ausgangsniveau. Eine Verbindung zu anderen Studien herzustellen, stellt sich als eine Herausforderung an, um damit die bisherige Arbeit mit der verwendeten Methode (gleichzeitiges Feedback) zu verbessern. In der Studie über gleichzeitige Rückmeldung (Feedbacks), wie bei Arbabi und Sarabandi (2016) ging es um das nachhaltige Lernen, welches für den Erwerb einer sportlichen Fähigkeit durch den Einfluss von Selbst-Video-Modellierung gekoppelt mit Experten-Modellierung geprüft wurde. Bei Anderson und Campbell (2015) konnten in Bezug auf die Beschleunigung des Bewegungslernens im Rudern mit dem benutzen Feedbackmechanismus signifikante Ergebnisse liefern.

Um eine Verbindung zu den zwei wichtigsten hervorgegangenen Studien machen zu können, braucht es ein klares Verständnis zur Nützlichkeit des Feedbacks und warum gerade das gleichzeitige gekoppelte Selbstbeobachtungs- und Expertenmodell so erfolgreich sein kann. Nach Le Naour, Hamon und Bresciani (2019) werden das ganze Leben lang motorische Fähigkeiten

erlernt. Dafür ist ein Feedback zum besseren Verständnis und schnelleren Lernprozess unabdingbar. Die virtuelle Realität (VR) bringt als Rückmeldungsart für das verbesserte motorische Erlernen neuer Fähigkeiten Vorteile, da es in der VR möglich ist, Bewegungen in 3D darzustellen und zusätzlich ein direktes Feedback in Echtzeit angezeigt werden kann. Somit wird gleichermassen eine Bewegungserfassung vollzogen, um den Lernenden ein dreidimensionales Feedback der eigenen Bewegung (Selbstrückmeldung) in Echtzeit vorzuführen und die Expertenbewegung in der VR gezeigt. Diese Art von Feedback wurde beim Wurf im American Football durchgeführt und mit dem traditionellen Videofeedback verglichen. Ausserdem wurden die Ergebnisse der Lernenden auf die Wirksamkeit und Regelmässigkeit geprüft. Die Resultate haben ergeben, dass die kombinierte Form des Feedbacks, d.h. die gezeigte Expertenbewegung mit gleichzeitiger Selbstbeobachtung der neu zu erlernender Bewegung die Wiedergabe signifikant verbessert. Die alleinige Experten-Rückmeldung konnte im Vergleich keine signifikante Bewegungsreproduktion begründen. Nach Schmidt et al. (2011) werden motorische Fähigkeiten schnell durch Feedback gelernt, wobei es sich in der Forschung als komplizierte Aufgabe darstellt andere Faktoren, welche ebenfalls für das Lernen zuständig sein können, wie bspw. das Training, zu isolieren. Durch die Retention einer erlernten Bewegung nach der Erwerbsphase, wird eine Speicherung im Gedächtnis vorgenommen, um neue Fähigkeiten nach gewisser Zeit wieder abrufen zu können. Damit soll beurteilt werden, ob das neu Gelernte langanhaltend verarbeitet und abgespeichert wurde. Um eine Verbindung zu den erhaltenen Resultaten aus dem Experiment dieser Arbeit in Session 5 (Retentionstest) zu knüpfen, wurde ein signifikanter Unterschied zwischen dem backFoot mit einem p-Wert von 0.04 und bei der Pelvis-Orientierung mit einem p-Wert von 0.02 im Vergleich der Feedback- und der Kontrollgruppe festgestellt. Da die Probanden beim Retentionstest kein weiteres Feedback erhalten haben, darf davon ausgegangen werden, dass sie das neue Bewegungsmuster tatsächlich im Gedächtnis gespeichert haben und dieses wieder hervorrufen konnten. Beim frontFoot wurde ein p-Wert von 0.07 zwischen den beiden Gruppen ermittelt, wobei dieser Wert statistisch nicht signifikant ist. Damit kann gezeigt werden, dass das Gedächtnis und die Retention für den Lernprozess wichtig sind, damit der Lernende das Erlernte nach einiger Zeit wiedergeben kann. Nach einer deskriptiven Analyse des Umfragebogens kam man sagen, dass die meisten Teilnehmer mit der Anwendung des Programms zufrieden waren. Zu den Fehlerquellen gehören zum einen die geringe Anzahl an Probanden von $n < 30$, die am Experiment teilgenommen haben und zum anderen die Messfehler der 20 angebrachten Marker, die während dem Laufen vor allem an der Hüfte verrutscht sind. Der Evaluationsbogen liefert einige Erklärungen zur Nachvollziehung des Experiments. Beispielsweise fanden die einzelnen Probanden es schwierig, sich kognitiv

auf mehrere Dinge gleichzeitig zu konzentrieren. Durch die zufällige Einteilung in die Gruppen, wurden von Anfang an keine homogenen Gruppen gebildet. In beiden Gruppen wurde keine signifikante Verbesserung im Beckenbereich gefunden, was mit den Erfahrungen der Probanden während des Experiments und dem Verrutschen wichtiger Marker um den Pelvisbereich erklärt werden kann. Ein weiterer zu beachtender Grund für die unpräzisen Messresultate könnte am Schwierigkeitsgrad der gestellten Aufgabe liegen. So sollte in einem nächsten Experiment vielleicht ein Fokus auf einen Messparameter gesetzt werden und bspw. nur der Vorderfuss mit einer grösseren Anzahl an Probanden analysiert werden. Die aufgestellte Hypothese H_0 , ob ein kombiniertes kinetisches Feedback das langfristige Erlernen des Vorwärtszyklus beim Laufen nicht signifikant mehr als bei der Kontrollgruppe mit Videofeedback erhöht, wird mit den erlangten Ergebnissen dieses Versuches teilweise bestätigt.

Um die Fragestellung der Hypothese H_1 zu beantworten, ob ein kinetisches Feedback das langfristige Erlernen des Vorwärtszyklus signifikant erhöht, kann nach einer ersten Nachbereitungsanalyse der Bewegung anhand der gewonnenen Resultate der gewählten Methode nicht gesamthaft belegt werden, da gewisse Messparameter eine Signifikanz aufwiesen. Somit bleibt weiterhin wissenschaftlich zu prüfen, in welchem Bereich es möglich wäre, ein klares langfristiges Erlernen des Vorwärtszyklus beim Laufen zu indizieren. Die Basis der Studie lieferte bereits am Anfang signifikante Unterschiede in der $S1$. Dies kann auf eine ungenügend randomisierte Einteilung der beiden Gruppen oder eine falsche Einschätzung der Laufniveaus der einzelnen Probanden zurückgeführt werden. Die Kontrollgruppe war zufällig zusammengesetzt und deren Laufniveau von Anfang an leistungsschwächer als jenes von der Feedbackgruppe. Durch das zum Teil schlechte Einschätzen der eigenen Leistung in der Feedbackgruppe, wurde ihr Durchschnitt gegenüber der Kontrollgruppe zu hoch, weshalb es sinnvoll wäre, in einer weiteren Studie die Gruppenbildung nur durch Zufall und ohne Selbsteinschätzung zu generieren. Wie bereits erwähnt, erlaubt die begrenzte Anzahl an Probanden im durchgeführten Experiment keine eingehende Analyse. Eine grössere Stichprobenanzahl könnte in Anbetracht der Datentendenzen dazu beitragen, bessere Resultate durch die gewählte Methode zu erzielen. Die langfristigen Auswirkungen des Technikwechsels auf die Probanden und auf deren Retention ist nicht bekannt und es kann nicht vorhergesagt werden, ob die Probanden den veränderten Vorwärtszyklus langfristig aufrechterhalten können. Abschliessend kann jedoch gesagt werden, dass das verwendete Lernmodell interessant ist und in einer vertieften Studie mit mehr Teilnehmern und über einen längeren Zeitraum hinweg weiterverfolgt werden sollte. Die Probanden bewerteten nach Ende des Experiments mittels Umfragebogen die Nützlichkeit der angewendeten Methode zum Erlernen eines Laufzyklus als positiv. Für das Feedback wurde die direkte

Selbstbeobachtung des Probanden in Kombination mit dem Expertenmodellvideo genutzt. Die Resultate haben gezeigt, dass ein kombiniertes Feedback einen positiven Einfluss auf das Erlernen einer Sporttechnik haben kann. Bei der Studie von Le Naour et al. (2019) liegt eine Tendenz für die Gesamtheit aller Gruppen zur Verbesserung der Bewegungsausführung durch das Feedback im Prä- und Posttest vor. Die Trainingsmethode kann somit als effizientere Intervention für Sportler dienen, sodass die sportlichen Entwicklungen von Bewegungen besser manifestiert werden können. Durch das durchgeführte Experiment kann auf der deskriptiven Ebene trotzdem eine positive Bilanz gezogen werden. Die Probanden scheinen im Grossen und Ganzen zufrieden bei der Umsetzung des vorgegebenen Feedbackprogramms zu sein. Nach der herrschenden Meinung laut Umfragebogen scheinen die Probanden durch die Lernmethode einen eher positiven Effekt auf ihren Lernprozess bemerkt zu haben. Im durchgeführten Experiment wurden durchaus interessante Kenntnisse über das kombinierte kinetische Feedback bei den drei ausgewählten Hauptmesspunkten gewonnen. In Bezug auf den Vorwärtszyklus im Laufen bestätigt die Ergebnislage, dass der Messpunkt der Vorderfussposition signifikante Resultate lieferte.

5 Schlussfolgerung

Abschliessend kann gesagt werden, dass in dieser Studie interessante Erkenntnisse zur Trainingsmethode mit einem visuell-kinetischen Feedback in Bezug auf das Erlernen des Vorwärtszyklus gemacht werden konnten. Durch die Ergebnislage konnte vor allem bei der Höhe der Vorderfussposition eine Signifikanz zur Verbesserung des Vorwärtszyklus gezeigt werden. In beiden Gruppen Kontrolle $p=0.02$ und Feedback $p=0.001$ haben sich die Probanden im Verlauf der fünf Sessionen verbessern können. Die anderen beiden Messpunkte Hinterfussausgang beim Zyklus und Pelvis-Orientierung lieferten in einem Signifikanzbereich keine überzeugenden Resultate, wobei gewisse Tendenzen zu beobachten sind. In Anbetracht der Fragestellung, kann die Hypothese H1, ob ein kinetisches Feedback das langfristige Erlernen des Vorwärtszyklus signifikant erhöht ist als bei einer Kontrollgruppe mit Videofeedback, mit einem p-Wert von 0.02 im frontFoot der Kontrollgruppe und $p=0.001$ der Feedbackgruppe in der Gesamtcharakteristik der Methode nicht vollständig bestätigt werden. Anders sieht es im backFoot aus, wo die Kontrollgruppe mit $p=0.19$ und die Feedbackgruppe $p=0.20$ und beim letzten Vergleich die Kontrollgruppe mit $p=0.05$ signifikant besser als die Feedbackgruppe mit $p=0.10$ war. Die Resultate verschiedener Studien zeigen, dass solch ein Rückmeldungssystem für das Erlernen von motorischen Bewegungen eine Steigerung in der Leistung erzielen kann. Durch die Rückmeldungen der Probanden kristallisierte sich heraus, dass es sich um eine interessante und motivierende Methode handelt, um etwas Neues zu lernen. Die gewählte Trainingsmethode bietet eine vielversprechende Anwendung zur sportlichen und effizienteren Bewegungsentwicklung.

6 Literaturverzeichnis

- Almeida, M. O., Davis, I. S., & Lopes, A. D. (2015). Biomechanical differences of foot-strike patterns during running: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.6019>
- Altman, A. R. & Davis, I. S. (2012). *Barefoot running: Biomechanics and implications for running injuries*. Retrieved from www.acsm-csmr.org
- Anderson, R. & Campbell, M. J. (2015). Accelerating skill acquisition in rowing using self-based observational learning and expert modelling during performance. *International Journal of Sports Science and Coaching*. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1260/1747-9541.10.2-3.425>
- Arbabi, A. & Sarabandi, M. (2016). Effect of performance feedback with three different video modeling methods on aquisition and retention of badminton long service.
- Bailenson, J., Patel, K., Nielsen, A., Bajscy, R., Jung, S. H. & Kurillo, G. (2008). The effect of interactivity on learning physical actions in virtual reality. *Media Psychology*. <https://doi.org/10.1080/15213260802285214>
- Boyer, E., Miltenberger, R. G., Batsche, C., & Stokes, T. (2008). *Expert video modeling with video feedback to enhance gymnastics skills*. Retrieved from <http://scholarcommons.usf.edu/etdhttp://scholarcommons.usf.edu/etd/146>
- Chan, J., Leung, H., Tang, J., & Komura, T. (2011). A virtual reality dance system using motion capture technology
- Chua, P. T., Crivella, R., Daly, B., Hu, N., Schaaf, R., Ventura, D.,...Pausch, R. (2003). Training for physical tasks in virtual environments: Tai Chi. In *Proceedings - IEEE Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1109/VR.2003.1191125>
- Covaci, A., Olivier, A.-H., & Multon, F. (2014). Third person view and guidance for more natural motor behaviour in immersive basketball playing. <https://doi.org/10.1145/2671015.2671023>
- Davis, I. S., Rice, H. M., & Wearing, S. C. (2017). Why forefoot striking in minimal shoes might positively change the course of running injuries. *Journal of Sport and Health Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.03.013>
- Ericksen, H. M., Thomas, A. C., Gribble, P. A., Armstrong, C., Rice, M., & Pietrosimone, B. (2016). Jump-landing biomechanics following a 4-week real-time feedback intervention and retention. *Clinical Biomechanics*.

- <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.01.005>
- Gisler-Hoffmann, T. (2008). Plastizität und Training der sensomotorischen Systeme. *Schweizerische Zeitschrift für "Sportmedizin und Sporttraumatologie"*, 56(4), 137-149.
- Hamill, J. & Gruber, A. H. (2017). Is changing footstrike pattern beneficial to runners? *Journal of Sport and Health Science*.
- <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.02.004>
- Kelly, P., Healy, A., Moran, K., & O'Connor, N. E. (2010). *A Virtual Coaching Environment for Improving Golf Swing Technique*.
- Lacouture, P., Colloud, F., Decatoire, A., & Monnet, T. (2013). Biomecanique de la course à pied. *EMC – Podologie*, 9(2), 1-14.
- <https://doi.org/10.1016/S0292-062X>
- Le Naour, T., Hamon, L., & Bresciani, J.P. (2019). Superimposing 3D virtual self + expert modeling for motor learning: Application to the throw in American football. *Front. ICT*.
- <https://doi.org/10.3389/fict.2019.00016>
- Le Naour, T., Ré, C., & Bresciani, J.P. (2019). 3D feedback and observation for motor learning: Application to the roundoff movement in gymnastics. *Human Movement Science*, 66, 564-577.
- <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.06.008>
- Merian, T., & Baumberger, B. (2008). Le feedback vidéo en éducation physique scolaire. *Staps*.
- <https://doi.org/10.3917/sta.076.0107>
- Piasenta J. (1988). L'éducation athlétique. I.N.S.E.P. Collection Entraînement *BIOMECAanique et la LOCOmotion humaine*.
- Retrieved from <https://sites.google.com/site/biomecaloco/>
- Preece, S. J., Bramah, C., & Mason, D. (2018). The biomechanical characteristics of high-performance endurance running. *European Journal of Sport Science*.
- <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1554707>
- Roosink, M., Robitaille, N., McFadyen, B., Hébert, L. J., Jackson, P. L., Bouyer, L. J., & Mercier, C. (2015). Real-time modulation of visual feedback on human full-body movements in a virtual mirror: development and proof-of-concept. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*.
- <https://doi.org/10.1186/1743-0003-12-2>
- Rooney, B. D., & Derrick, T. R. (2013). Joint contact loading in forefoot and rearfoot strike patterns during running. *Journal of Biomechanics*.
- <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.06.022>

- Rubenson, J., Stearne, S. M., Green, B. A., Alderson, J. A., & Donnelly, C. J. (2014). Joint kinetics in rearfoot versus forefoot running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000254>
- Sakaguchi, M., Shimizu, N., Yanai, T., Stefanyshyn, D. J., & Kawakami, Y. (2015). Hip rotation angle is associated with frontal plane knee joint mechanics during running. *Gait and Posture*. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.12.014>
- Schmidt, R.A., Lee, T.D., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H.N. (2011). Motor control and learning: A behavioral emphasis (5. Auflage, S.393-427). Ort: Human Kinetics.

7 Anhang

Shapiro-wilk normality test

```
data: myData$frontFoot  
w = 0.91383, p-value = 5.56e-06
```

Shapiro-wilk normality test

```
data: myData$backFoot  
w = 0.97396, p-value = 0.04122
```

Shapiro-wilk normality test

```
data: myData$pelvisOrientation  
w = 0.98028, p-value = 0.1316
```

Abb. 1 R-Studio Resultate der Normalverteilung.

Die drei beliebtesten Volksläufe der Schweiz

Zahlen der klassifizierten Teilnehmenden

GP Bern (10 Meilen) 20 km Lausanne Escalade Genf (7,248 km)

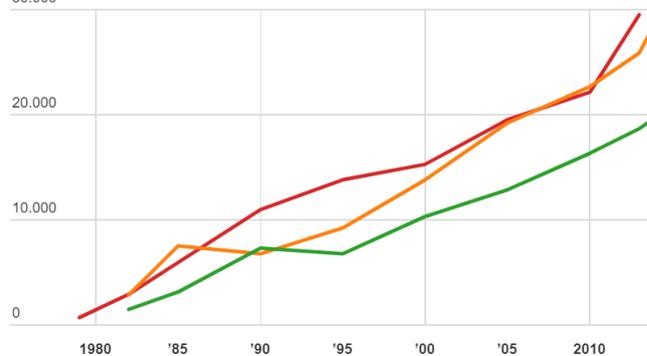


Abb. 2. Lob, G., 2014, swissinfo. Verlauf der Teilnehmeranzahl mit einer steigenden Tendenz.

Protokoll Experiment Laufmuster Erlernen der Gruppen auf dem Laufband

- (i) Allgemeine Aufwärmobilisierung der Gelenke im Vorbereitungsraum
- (ii) Vordere Schrittanweisung mit A4-Blatt im Vorbereitungsraum
- (iii) Unterkörperausrüstung mit 20 Markern: Vorsicht vor Knie-, Hammer-, Becken- und Hüftwinkeln.
- (iv) Kalibrieren Sie das Objekt in t-Position im Experimentierraum.

(v) Aufwärmen: 1 Minute auf dem Laufband mit einer vom Probanden gewählten Geschwindigkeit.

(vi) Aufnahme starten: 1 Minute 30 Sekunden Vorprüfung vor den Sitzungen 1 bis 4

(vii) 30 Sekunden Gehen auf einem ruhigen Teppich; Erholung

(viii) 4 x 4 Minuten mit Feedback dann 30 Sekunden Erholung

Sitzung 1 bis 4 Lernen:

1.) 4 Minuten Geschwindigkeit beschleunigen 1-2 km/h und anschliessend 30 Sekunden gehen.

2.) 4 Minuten reduzierte Geschwindigkeit 1-2 km/h und 30 Sekunden zu Fuß.

3.) 4 Minuten Geschwindigkeit beschleunigen 1-2 km/h und 30 Sekunden gehen.

4.) 4 Minuten bevorzugte Geschwindigkeit, die vom Probanden gewählt wird.

(ix) Sitzung 4 wird es bereits 1 Minute 30 Sekunden nach dem Lernen einen Post-Test geben.

(x) Sitzung 5

1.) Allgemeines Aufwärmen und Anweisungen im Vorbereitungsraum

2.) 1 Minute auf dem Laufband mit der vom Probanden gewählten Geschwindigkeit aufwärmen.

3.) Retentionstest 3 Minuten ohne Rückmeldung auf dem Laufband als Post-Test.

Bonjour, ce questionnaire a pour but d'évaluer les méthodes d'apprentissage auxquelles vous avez été soumis. Ce questionnaire est anonyme.

Ce questionnaire est réalisé dans le cadre du travail de master de Kym et Fabien par le groupe de recherche des sciences des sports et du mouvement de l'université de Fribourg.

Temps approximatif : 5 à 10mn

Feedback (à remplir par Kym ou Fabien)

Age droitier gaucher

Homme Femme

Nombre d'années d'expérience :

A	Etes-vous à l'aise avec les outils informatiques et virtuels	<input type="checkbox"/>				
1	(PC, Mac, représentation spatiale)					
A	Avez-vous trouvé l'application facile d'utilisation :					
A	Utilisation générale	<input type="checkbox"/>				
2	Avez-vous eu des bugs	<input type="checkbox"/>				
A						
3						
A	Pensez-vous avoir appliqué les exercices de façon rigou-	<input type="checkbox"/>				
4	reuse (ce questionnaire est anonyme) ?					
A	Comment estimez-vous la clarté des explications fournies	<input type="checkbox"/>				
5	par l'intervenant avant de commencer ?					

Pour l'ensemble des questions suivantes, pouvez-vous donner une évaluation allant de 1 (peu satisfaisant / pas d'accord) à 5

feedback (utilité)		1	2	3	4	5
B	D'une manière générale, avez-vous trouvé cette méthode d'appren-					
1	tissage	<input type="checkbox"/>				
	intéressante	<input type="checkbox"/>				
	utile	<input type="checkbox"/>				
B	Cette application m'a permis de mieux comprendre les éléments im-	<input type="checkbox"/>				
2	portants de la tâche					
B	Pensez-vous avoir amélioré votre représentation mentale du mou-	<input type="checkbox"/>				
3	vement	<input type="checkbox"/>				
B	plus vite qu'avec une méthode d'apprentissage classique ?	<input type="checkbox"/>				
4	plus facilement qu'avec une méthode d'apprentissage classique ?	<input type="checkbox"/>				
B	Pensez-vous avoir amélioré votre mouvement	<input type="checkbox"/>				
5	plus vite qu'avec une méthode d'apprentissage classique ?	<input type="checkbox"/>				
B	plus facilement qu'avec une méthode d'apprentissage classique ?	<input type="checkbox"/>				
6						

Facilité d'utilisation		1	2	3	4	5
C1	Lors des premiers apprentissages, comment estimez-vous votre compréhension de la tâche à faire (facilité à bien repérer mon mouvement et à me comparer au feedback virtuel)	<input type="checkbox"/>				
C2	Jugez-vous cet exercice difficile ?	<input type="checkbox"/>				
C3	Jugez-vous les informations affichées fidèles à la réalité ?	<input type="checkbox"/>				
C4	D'une manière générale (ressenti subjectif)	<input type="checkbox"/>				
C5	Graphiquement (décors, clarté de la représentation)	<input type="checkbox"/>				
C5	Positionnements et orientation des informations (trajectoires pour feedback de Fabien, hauteur et orientation de la hanche pour Kym)	<input type="checkbox"/>				
C6	Jugez-vous l'utilisation intuitive ?	<input type="checkbox"/>				

Application		1	2	3	4	5
D1	Ce système est bien pour s'entraîner	<input type="checkbox"/>				
D2	Recommanderiez-vous cette méthode d'apprentissage à d'autres joueurs ?	<input type="checkbox"/>				
D3	Recommanderiez-vous cette méthode d'apprentissage pour d'autres sports individuels ?	<input type="checkbox"/>				

COMPLEMENTS D'INFORMATION :

Commentaires :

Merci de votre collaboration,

Kym Marti, Fabien Bruchez

Et Thibaut Le Naour