

UNIVERSITÄT FREIBURG, SCHWEIZ
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT
DEPARTEMENT FÜR MEDIZIN

In Zusammenarbeit mit der
EIDGENÖSSISCHEN HOCHSCHULE FÜR SPORT MAGGLINGEN

Untersuchung der Gleichgewichtsfähigkeit von Jugendlichen im Alter von 14-15 Jahren

Abschlussarbeit zur Erlangung des Masters in
Bewegungs- und Sportwissenschaften
Option Unterricht

Referent: Prof. Dr. Wolfgang TAUBE
Betreuer-In: Michael WÄLCHLI

Pascal HAAB
Ueberstorf, September 2015

Untersuchung der Gleichgewichtsfähigkeit von Jugendlichen im Alter von 14-15 Jahren

Pascal Haab

Master thesis in Sport Science

Viele Studien zeigen die positiven Auswirkungen durch Gleichgewichtstraining. Vor allem der präventive Effekt kann einen Beitrag leisten, damit die finanziellen Kosten aus Sturzunfällen reduziert werden könnten. Durch diese Studie soll Wissen über die Auswirkung von ganzheitlichem Gleichgewichtstraining während fünf Wochen mit 14-15 Jahre alten Jugendlichen generiert werden.

Beim einbeinigen Balancieren auf einem Holzkreisel ($p=0.047$) und beim einbeinigen Stand auf einer freischwingenden Plattform (Posturomed) ($p=0.017$) konnten die Probanden ($n=15$) den Schwankweg signifikant reduzieren. Andere Gleichgewichtstests blieben ohne signifikante Verbesserung. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den antizipierbaren und nicht-antizipierbaren Perturbationen festgestellt werden. Es scheint, dass der Schwierigkeitsgrad der Testbedingungen einen wesentlichen Einfluss auf die Resultate hatte und die Probanden bei einigen Aufgaben zu wenig herausgefordert waren. Durch die Trainingsintervention kam ein positiver Zusatzeffekt bei der Sprungleistung im Countermovement Jump (CMJ) zustande ($p=0.028$). Jedoch konnte bei der Explosivkraft kein Fortschritt aufgezeigt werden.

Ganzheitliches Gleichgewichtstraining kann sich positiv auf die Gleichgewichtsfähigkeit und Sprungkraft von 14-15 jährigen Jugendlichen auswirken. Die Resultate werden für weiterführende Vergleiche zwischen verschiedenen Altersgruppen benutzt. So wird es zum ersten Mal möglich sein, die Gleichgewichtsfähigkeit, die Transfer- und Zusatzeffekte nach Gleichgewichtstrainings zwischen den verschiedenen Altersgruppen direkt miteinander zu vergleichen.

Referent: Prof. Dr. Wolfgang Taube

Betreuer: Michael Wälchli

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
1. Einleitung.....	4
2. Methoden	27
3. Resultate.....	34
4. Diskussion und Schlussfolgerungen	39
Literaturverzeichnis.....	51
Abbildungsverzeichnis	58
Anhang	59
Persönliche Erklärung	74
Urheberrechtserklärung	75

1. Einleitung

1.1.Einführung in das Thema

Der Mensch muss in seinem Alltag viele Gleichgewichtsherausforderungen meistern. Die Unterstützungsfläche für den menschlichen Körper ist im Verhältnis zu seiner Grösse relativ klein (Taube, 2013). Zudem muss sich der Mensch laufend den sich ändernden Umweltbedingungen anpassen können, damit er nicht stürzt. Es gibt extrinsische und intrinsische Faktoren, die das Sturzrisiko erhöhen können (Granacher et al., 2011a). Als extrinsische Faktoren gelten Umgebungsbedingungen wie zum Beispiel eine Treppe, Hindernisse oder die Beschaffenheit des Untergrunds. Eine unzureichende Haltungskontrolle, Defizite in der Gangstabilität oder Kraftdefizite werden als intrinsische Faktoren für ein erhöhtes Sturz- und Verletzungsrisiko angesehen. Die Autoren haben weiter festgestellt, dass beim Sturzrisiko im Verhältnis zum Alter eine grafische „U-Form“ zu erkennen ist. Dies bedeutet, dass das Sturzrisiko vom Alter abhängig ist, respektive Kinder sowie Senioren ein erhöhtes Sturzrisiko haben. Es ist dabei bekannt, dass sich die neuromuskulären Bedingungen der Gleichgewichtsfähigkeit bei jungen Kindern (Riach & Hayes, 1987) sowie Senioren (Baudry & Duchateau, 2012; Granacher et al., 2006) im Vergleich zu gesunden jungen Erwachsenen unterscheiden. Kinder und Senioren haben eine schlechtere posturale Kontrolle als junge Erwachsene (Hytonen, et al., 1993), was ein gewichtiger Grund für das erhöhte Sturzrisiko ist.

Kahl et al. (2007) haben festgestellt, dass 15.2% der Kinder zwischen einem und siebzehn Jahren mindestens einen Sturzunfall pro Jahr haben. Bei Kindern gehören Stürze zwar meistens zum Alltag, aber auch bei ihnen bleiben sie nicht immer ohne Folgen. Dramatischer werden die Stürze oftmals bei älteren Altersgruppen. Senioren müssen durch Stürze oft mit gravierenden körperlichen Konsequenzen rechnen. Gemäss bfu-Statistik 2014 sind Stürze die häufigste Unfallursache im Haushalt und in der Freizeit. Dieser Statistik kann ebenfalls entnommen werden, dass in den vergangenen Jahren ein erhöhtes Sturzrisiko im Haushalt und in der Freizeit registriert wurde. In der Schweiz passierten gemäss bfu-Statistik die meisten Stürze auf gleicher Ebene (59.8%). Weiter stürzten 20.6% aus der Höhe, 17.6% auf der Treppe und 2.1% auf eine andere Art und Weise. Die finanziellen Kosten, welche aus Stürzen erfolgten, sind bei Senioren sehr hoch (Stevens et al., 2006), aber ebenso bei Kindern (Mathers et al., 1999). Mathers und Kollegen (1999) schätzten die direkten Kosten durch

Stürze von Kindern in Australien auf mehr als 130 Millionen Dollar pro Jahr. Dies könnte für entsprechend zuständige Behörden ein Antrieb sein, in die Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit der Bevölkerung zu investieren. Hier bietet Gleichgewichtstraining die Möglichkeit einen Beitrag zu leisten, um die Kosten aus Sturzunfällen zu reduzieren.

Bisher wurden verschiedene Arten von Gleichgewichtstraining untersucht. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit niveauangepasstem und herausforderndem Training auf instabilem Untergrund die Gleichgewichtsfähigkeit verbessert werden konnte. Gleichgewichtstraining kann zu einer Verbesserung des Reflexbogens führen und somit Stürze verhindern (Taube et al., 2008). Auch Granacher et al. (2011a) erkannten, dass durch Gleichgewichts- und Krafttraining das Sturz- und Verletzungsrisiko erheblich gesenkt werden konnte. Gleichgewichtstraining scheint sogar in mehrfacher Weise wertvoll zu sein. Die neuronalen Anpassungsreaktionen auf Gleichgewichtstraining verbessern nicht nur die Gleichgewichtsfähigkeit, sondern wirken sich auch auf andere Bewegungsaufgaben positiv aus (Taube, 2013). Es konnte aufgezeigt werden, dass durch Gleichgewichtstraining die Explosivkraft gesteigert werden konnte (Gruber et al., 2007) und eine erhöhte Sprungleistungsfähigkeit erreicht wurde (Taube et al., 2007b). Weiter kann sich Gleichgewichtstraining positiv auf den Rehabilitationsprozess auswirken (Freeman et al., 1965; Henriksson et al., 2001) und für die Prävention von Verletzungen eingesetzt werden (Taube et al., 2007b). Somit eignet sich Gleichgewichtstraining gleichermaßen für den Leistungssport, wie auch für den Präventions- und Rehabilitationsbereich.

1.2.Hintergrund und Ausgangslage

Posturale Kontrolle und Gleichgewichtsfähigkeit

Derzeit existiert keine allgemein gültige Definition für den Begriff der posturalen Kontrolle (Shumway-Cook & Woollacott, 2001). Die posturale Kontrolle beschreibt die Kontrolle der Körperhaltung unter verschiedenen Einflussfaktoren. Shumway-Cook & Woollacott (2001) erklären den Begriff der posturalen Kontrolle mit der Ausrichtung des Körpers im Raum beziehungsweise mit der Position des Individuums zu seiner Umwelt. Synonym zur posturalen Kontrolle wird auch der Begriff der Haltungskontrolle verwendet (Shumway-Cook & Woollacott, 2006). Die Einschliessung und Verwendung aller relevanten sensorischen Informationen und die angepasste Steuerung der jeweiligen neuromuskulären Vorgänge sind Bedingung für eine situationsgerechte Haltungskontrolle (Abendroth, 2004; Shumway-Cook

& Woollacott, 2006). Die posturale Stabilität wird von Shumway-Cook & Woollacott (2006) als das Vermögen, den Körperschwerpunkt relativ zur Unterstützungsbasis zu kontrollieren, beschrieben. Die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts stellt das zentrale Nervensystem vor die Aufgabe, den Körperschwerpunkt über der Unterstützungsfläche zu halten. Um den Körper erfolgreich gegen die Schwerkraft aufzurichten, ist die Wahrnehmung von Gleichgewicht und Ungleichgewicht Voraussetzung (Schwesig, 2006). Diese Aufgabe wird durch verschiedene sensorische Systeme und zentrale Strukturen gewährleistet (Shumway-Cook & Woollacott, 2001). Die Wahrnehmung des Ungleichgewichts kann durch optische (Buchanan et al., 1999), propriozeptive (Fitzpatrick et al., 1994), taktile (Holden et al., 1994) und vestibuläre Analysatoren (Nashner et al., 1989) erfolgen. Es findet jedoch keine getrennte Verarbeitung der Informationen statt, sondern die Analysatoren werden je nach Situation unterschiedlich stark gewichtet (Taube, 2013). Bisher konnte der relative Beitrag jedes einzelnen Systems (visuelles, vestibuläres und somatosensorisches System) noch nicht genau bestimmt werden (Taube, 2013). Es konnten aber spezifische Präferenzen je nach Störreiz aufgezeigt werden. So übernimmt bei der Kompensation von schnellen Richtungsänderungen der Unterstützungsfläche das somatosensorische System eine dominierende Rolle (Dietz et al., 1988). Das vestibuläre System scheint hingegen eher für die Kontrolle von langsameren Schwankungen zuständig zu sein (Mauritz & Dietz, 1980).

Die posturale Kontrolle unterscheidet sich nach Taube (2013) generell in zwei Modi, nämlich im „Feedback-Modus“ und dem „antizipativen Modus“. Im „Feedback-Modus“ wird auf die Störung des Gleichgewichts reagiert und durch geeignete Reaktionen versucht das Gleichgewicht wieder herzustellen. Im „antizipativen Modus“ werden Störeinflüsse gedanklich vorweggenommen und die posturale Kontrolle versucht sich anhand einer Art Feedforward-Regelung auf den störenden Reiz einzustellen. Dieser Mechanismus spielt bei Willkürbewegungen eine relevante Rolle, weil dadurch destabilisierende Auswirkungen exakt vorhergesehen werden können (Taube, 2013, S. 56).

Die Gleichgewichtsfähigkeit wird im Rahmen der koordinativen Fähigkeiten im sportmotorischen Sinne eingeordnet (Weineck, 2010). Dadurch steht die Gleichgewichtsfähigkeit näher im Kontext von sportlicher Leistung. Koordinative Fähigkeiten werden als Eigenschaften definiert, die sich vor allem auf die Prozesse der Bewegungssteuerung und -regelung beziehen (Hirtz, 2007, S. 212). Die posturale Kontrolle wie auch die Gleichgewichtsfähigkeit stellen grundlegende Voraussetzungen für körperliche Aktivität dar.

Gleichgewichtstraining

In der Literatur werden Übungen zur Verbesserung der posturalen Kontrolle nicht immer gleich beschrieben und die Begriffsbezeichnung hat sich im Laufe der Zeit angepasst. Taube (2013) hält sich an den Begriff des Gleichgewichtstrainings, was für diese Arbeit auch als am geeignetsten scheint. Der Begriff Gleichgewichtstraining bezeichnet die Bewegungsaufgabe und enthält keine Widersprüche in sich. Taube (2013) spricht sich gegen die Verwendung der Bezeichnungen propriozeptives Training (nur Aufnahme sensorischer Informationen), neuromuskuläres oder sensomotorisches Training (beide zu weit gefasst) aus. Ein weiterer Vorteil der Begrifflichkeit des Gleichgewichtstrainings ist, dass die Bezeichnung keine körperinternen Vorgänge beschreibt.

In der Literatur ist von Transfer- und Zusatzeffekten von Gleichgewichtstraining die Rede. In der vorliegenden Arbeit wird wie folgt unterschieden. Transfereffekte entstehen, wenn ein Fortschritt in einer nicht trainierten Gleichgewichtsaufgabe festgestellt werden konnte, zum Beispiel wenn nach einem Slackline-Training ein reduzierter Schwankweg auf einer frei schwingenden Plattform erkennbar ist. So konnte die Leistung auf der Slackline in eine andere Gleichgewichtsaufgabe transferiert werden. Zusätzliche Effekte von Gleichgewichtstraining sind in anderen Bewegungsaufgaben ersichtlich. Dies kann eine verbesserte Sprunghöhe und/ oder eine gesteigerte Explosivkraft sein.

In vielen Interventionsstudien mit Gleichgewichtstraining werden mehrere unterschiedliche Trainingsgeräte verwendet. Häufig verwendete Materialien sind beispielsweise Wackelbretter, Kipp-Kreisel, 2-dimensional frei schwingende Plattformen, Matten oder Kissen (Taube, 2013). Abbildung 1 zeigt ein exemplarisches Protokoll eines Gleichgewichtstrainings mit verschiedenen instabilen Unterlagen. Über die optimale Trainingsdauer und –intensität ist man sich noch nicht einig (Taube, 2013). Die Trainingsform, wie sie auf der Abbildung 1 ersichtlich ist, fand in vielen Studien Verwendung (Granacher et al., 2006; Gruber et al., 2007; Taube et al. 2007).






Instruktion	<p>“So ruhig wie möglich stehen, ohne vom Gerät zu fallen.”</p> <p>Übungsdurchführung: ca. 30° gebeugte Knie, barfuß, offene Augen mit den Händen an der Hüfte.</p>
Standardisierte Trainingsposition	
Übungen	<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  <p>Matte</p>  <p>Kreisel</p>  <p>Kippbrett</p>  <p>Kissen</p> </div> <div style="flex: 1; padding-left: 10px;"> <p>Jede Übung wird 4× durchgeführt: 20 s Aktivität und 40s Pause zwischen den Übungen.</p> <p>Zwischen den einzelnen Übungen werden längere Pausen von 3 Minuten eingelegt</p> </div> </div>

Abb. 1 : Exemplarisches Protokoll eines Gleichgewichtstrainings. Die Gesamtdauer der Trainingseinheit beträgt 60 Minuten, einschliesslich einer 10-minütigen Aufwärmphase und eines 10-minütigen Cool-down. Mod. nach Gruber et al. (2007a, S. 277).

Zusätzliche Effekte von Gleichgewichtstraining

Eine Vielzahl von Studien belegten den positiven Effekt von Gleichgewichtstraining auf die posturale Kontrolle (Granacher et al., 2011a; Taube et al., 2008). Die positiven Auswirkungen durch Gleichgewichtstraining auf die Gleichgewichtsfähigkeit wurden in verschiedenen Altersstufen und durch verschiedenste Trainingsmethoden nachgewiesen. Es ist bestätigt, dass Gleichgewichtstraining die Leistung auch in nicht gleichgewichtsspezifischen Aufgaben steigern kann. Gruber und Gollhofer (2004) stellten nach ihrer Trainingsintervention eine gesteigerte Explosivkraft fest und bei der Untersuchung von Taube et al. (2007b) erzielte die Gleichgewichtstrainingsgruppe eine erhöhte Sprungleistung (CMJ, Squat Jump und Drop Jump). Die neuronalen Anpassungen von Gleichgewichtstraining können sich also nicht nur auf die Gleichgewichtsfähigkeit, sondern auch auf andere Bewegungsaufgaben, wie

beispielsweise der Sprungleistung oder der Explosivkraft positiv auswirken (Taube, 2013). Es wurde jedoch ebenfalls diskutiert, dass die Leistungssteigerungen nach Gleichgewichtstrainings vornehmlich durch verbesserte Kraftverhältnisse (in den Beinen) zu Stande kommen könnten (Granacher et al., 2011a). Es scheint jedoch, dass die neuronalen Anpassungen von Gleichgewichtstraining ein entscheidender Faktor sind. Diese werden nachfolgend in einem separaten Abschnitt beschrieben.

Sprungleistung

Bereits viele Autoren konnten durch Gleichgewichtstraining den positiven Effekt auf die Sprungleistung erkennen (Bruhn et al., 2004; Granacher et al., 2010; Muehlbauer et al., 2013; Taube et al., 2007). Exemplarisch kann hier die Studie von Taube et al. (2007) genannt werden. Die Autoren unterteilten die 14-15 Jahre alten Nachwuchsathleten (Skisprung und Nordische Kombination) in zwei Trainingsgruppen und verglichen die Reflexantworten nach einer Gleichgewichts- respektive Krafttrainingsphase. Es konnte nachgewiesen werden, dass sowohl mit Kraft- wie auch mit Gleichgewichtstraining die Sprungleistung wurde. Dies obschon die Probanden bereits mehrjähriges Sprungtraining absolviert hatten. Der Vorteil des Gleichgewichtstrainings gegenüber dem Krafttraining besteht aber darin, dass es das tendo-muskuläre System weniger stark beansprucht (Taube et al. 2007). Es wurde diskutiert, dass durch Gleichgewichtstraining die synaptischen Nervenbahnen zur fussgelenksumgreifenden Muskulatur gestärkt werden. Diese Anpassung könnte anschliessend ebenfalls in willkürlichen Kontraktionen ausgenutzt werden und zur verbesserten Sprungleistung führen (Taube et al., 2008). Auch Muehlbauer et al. (2013) stellten nach ihrer Inline-Skating Trainingsphase mit 11-12 jährigen Kindern eine signifikante Verbesserung der Sprunghöhe beim CMJ fest. Interessant scheint, dass dieser Zusatzeffekt bereits in diesem Alter möglich war und auch durch Training in einer Gleitsportart zustande kommen konnte. Aufgrund dieser Erkenntnisse kann in der hier vorliegenden Studie die Hypothese aufgestellt werden, dass die Probanden ebenfalls einen Fortschritt in der Sprungleistung machen.

Explosivkraft

Gruber & Gollhofer (2004) konnten nach einem Gleichgewichtstraining mit jungen Erwachsenen eine gesteigerte Explosivkraft nachweisen. Sie liessen die Trainingsgruppe auf instabilen Unterlagen trainieren. Die Testmethode bestand aus einem maximalen Krafteinsatz in einer Beinpressmaschine. Gemessen wurden bei der Testmethode die maximale Kraft und die Explosivkraft. Bei der gewählten Testmethode wird hauptsächlich die Kniegelenksumgreifende Muskulatur beansprucht. Aus diesem Grund liessen die Autoren die

Probanden mit isolierten Fussgelenken (mit Skischuhen) die Trainingsaufgaben durchführen. Somit konnten sie gewährleisten, dass die hauptbeanspruchten Muskelgruppen beim Training auch beim Test relevant waren. Dies könnte für das Zustandekommen dieses Effekts ausschlaggebend gewesen sein. Durch ihre Studie konnten die Autoren beweisen, dass Gleichgewichtstraining für die Steigerung der Explosivkraft und die neuronale Ansteuerung von willentlichen Bewegungen ist. Sie schlussfolgerten, dass Gleichgewichtstraining einen grossen Einfluss auf das neuromuskuläre System hat. Auch bei der Studie von Gruber et al. (2007) konnte eine gesteigerte Explosivkraft nachgewiesen werden. Sie liessen die Trainingsgruppe von jungen Erwachsenen auf instabilen Unterlagen mit frei beweglichen Fussgelenken trainieren. Jedoch testeten die Autoren dieser Studie eine isolierte Plantarflexionbewegung und trotzdem konnten sie eine Steigerung der Explosivkraft feststellen. Somit konnte aufgezeigt werden, dass trotz Training mit frei beweglichen Fussgelenken eine Steigerung der Explosivkraft in einer isolierten Bewegung nachgewiesen werden kann.

Diese Ergebnisse sind widersprüchlich zu anderen Studien (Donath et al., 2013; Granacher et al., 2011b; Taube et al., 2007). Taube et al. (2007) konnten bei ihren Trainingsgruppen (Gleichgewichts- und Kraftgruppe) kein signifikanter Unterschied in der Explosivkraft feststellen. Die Autoren gehen davon aus, dass möglicherweise die Gleichgewichtstrainingsbedingungen nicht den getesteten Muskelpartien entsprachen. Die Gleichgewichtsgruppe trainierte auf instabilen Unterlagen mit frei beweglichen Fussgelenken. Die Explosivkrafttests wurden jedoch auf einer Beinpressmaschine durchgeführt, welche vor allem die obere Beinmuskulatur beanspruchte. Donath et al. (2013) und Granacher et al. (2011b) gehen bei ihren Probandengruppen von einer anderen Ursache für die unveränderte Explosivkraft aus. Sie vermuten eine unvollständige Ausreifung der neuronalen Systeme. Der Einfluss des Alters auf die Auswirkungen von Gleichgewichtstraining wird in nachfolgenden Abschnitten diskutiert.

Gleichgewichtstraining mit Kindern und Jugendlichen

Zahner et al. (2004) sowie weitere Studien (Bös et al., 2008; Colley et al., 2011) zeigten auf, dass die motorischen Fähigkeiten von Kindern heutzutage zum Teil unterentwickelt sind. Matton et al. (2007) verglichen in einer Querschnittsstudie die Leistung von Mädchen aus dem Jahr 2005 mit Mädchen aus den Jahren 1979-1980 im Flamingo Gleichgewichtstest (Einbeinstand auf einem Balken). Die Leistung der Mädchen aus dem Jahr 2005 war im Vergleich zu ihren Vorfahrinnen signifikant schlechter. Durch motorische Unterentwicklung

erhöht sich das Sturzrisiko bei Kindern und spätere Bewegungsentwicklungen werden erschwert. Dies könnte im Vergleich zur Vergangenheit durch die häufigere sitzende Tätigkeit und durch mangelnde Alltagsherausforderungen der Gleichgewichtsfähigkeit von Kindern erklärbar sein (Zahner et al., 2004; Ahnert & Schneider, 2007). Es gibt Anzeichen, dass es eine Verbindung zwischen der Erhöhung von posturalen Schwankungen, Kraftdefiziten und Sportverletzungen bei Kindern und Adoleszenten gibt (Kambas et al., 2004; Wang et al., 2006). Trotzdem haben bisher nur wenige Studien den Einfluss von Gleichgewichtstraining bei Kindern untersucht. Bei cerebral geschädigten Kindern (Ledebt et al., 2005) sowie bei Kindern mit einer motorischen Unterentwicklung (Mombarg et al., 2013) konnten Fortschritte beim Gang und in der Standstabilität erkannt werden. Somit konnte bei beiden Untersuchungsgruppen durch Gleichgewichtstraining eine Verbesserung für den Alltag der Kinder erzielt werden. Für gesundheitlich geschädigte Kinder und solche mit einer Unterentwicklung scheint Gleichgewichtstraining einen klaren Mehrwert zu bieten.

Gleichgewichtstraining bei gesunden Kindern und Jugendlichen wurde bisher kaum untersucht und es bestehen nur wenige Studien zu dieser Thematik. Als Grundlage für die vorliegende Arbeit gelten vor allem die Ergebnisse und Erkenntnisse aus den nachfolgend beschriebenen Gleichgewichtsstudien mit Kindern respektive Jugendlichen. Leider können die bisher gemachten Resultate nur schlecht miteinander verglichen werden, weil die Trainingsinterventionen, das Alter der Probandengruppen und die Testaufgaben unterschiedlich waren. Trotzdem bilden diese Studien die Grundlage für weitere Untersuchungen.

Vergleich von Gleichgewichtstrainingsstudien mit Kindern und Jugendlichen

Granacher et al. (2011b) wählten ein klassisches Gleichgewichtstraining auf verschiedenen instabilen Unterlagen mit gesunden Kindern im Alter von 6-7 Jahren. Die Autoren konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Trainings- und der Kontrollgruppe bei der posturalen Kontrolle feststellen. Die posturale Kontrolle wurde durch eine freischwingende Gleichgewichtsplattform gemessen. Es wurde die Verlagerung des Körperschwerpunktes aufgezeichnet und analysiert. Die Probanden mussten mit beiden Beinen für 20 Sekunden möglichst ruhig auf der Plattform stehen bleiben. Neben den Daten der Plattform wurde die Sprunghöhe auf einer Kraftmessplatte und die Maximalkraft der Plantarflexoren unter isometrischer Bedingung gemessen. Die Intervention wurde während dem normalen Schulsportunterricht während vier Wochen mit drei Trainings pro Woche zu jeweils 45 Minuten durchgeführt. Es wurden Tests vor und nach der Trainingsphase, sowie ein

Folgetest durchgeführt. Es konnten ebenfalls keine signifikanten Verbesserungen in der Explosivkraft und der Sprunghöhe festgestellt werden. Die Autoren beobachteten kleine bis mittlere Effektgrößen, welche die Effektivität der Messungen aufzeigen. Die Autoren schlussfolgerten, dass klassisches Gleichgewichtstraining einen kleinen Effekt auf die posturale Kontrolle bei Kindern habe. Die Autoren betrachteten an ihrer Untersuchung kritisch, dass klassisches Gleichgewichtstraining (verschiedene Posten mit instabilen Unterlagen) von den Kindern ein gewisses Mass an Aufmerksamkeit und Konzentration beanspruchte. Die Kinder aus der Studie von Granacher et al. (2011b) konnten diese Voraussetzungen nur erfüllen, wenn der Trainingsleiter direkt bei ihnen stand und sie betreute. Dadurch bleibt die Frage offen, ob der ausbleibende Trainingseffekt nicht auf eine falsch gewählte Trainingsintervention zurückzuführen ist. Man kann den Lektionen vorhalten, dass die Methodik des klassischen Gleichgewichtstrainings nicht altersspezifisch gewählt wurde und deshalb die Motivation der Kinder während den Lektionen sank. Die Studienergebnisse stehen im Kontrast zu Untersuchungen mit Adoleszenten und älteren Altersgruppen (Bruhn et al., 2004; Granacher et al., 2010; Heitkamp et al., 2001; Taube et al., 2007), welche positive Auswirkungen durch klassisches Gleichgewichtstrainings feststellen konnten. Granacher et al. (2011b) legten dennoch mit ihren Untersuchungsergebnissen die Grundlage für weitere Studien mit Kindern.

Eine weitere Studie hat die posturale Kontrolle nach einem spezifischen Slackline-Training bei Kindern im Alter von 10.1 (± 0.4) Jahren untersucht (Donath et al., 2013). Vor und nach der sechs-wöchigen Trainingsphase mit fünf Trainings pro Woche während jeweils zehn Minuten wurden mehrere Tests durchgeführt. Die spezifische Leistung auf der Slackline (Einbein- und Zweibeinstand), der posturale Schwankweg auf einer Kraftmessplatte in statischer (fester Untergrund) und dynamischer (frei schwingend) Aufgabe jeweils mit Einbein- und Zweibeinstand, sowie Rückwärts balancieren auf einem Balken (6, 4.5 und 3cm breit) wurde getestet. Weiter massen die Autoren die Sprungleistung (CMJ) auf einer Kraftmessplatte und die Muskelaktivität mittels EMG während den Gleichgewichtstests. Es konnte eine signifikante Leistungssteigerung auf der Slackline festgestellt werden (beim Einbein- und Zweibeinstand). Weiter konnte bei der Trainingsgruppe eine signifikante Reduktion des posturalen Schwankwegs bei der dynamischen Aufgabe festgestellt werden. Ebenfalls ergab sich eine Leistungssteigerung des rückwärts balancieren auf dem 4.5cm breiten Balken und eine reduzierte Muskelaktivität (EMG). Alle anderen Tests zeigten keine signifikanten Ergebnisse. Die Resultate belegen einerseits eine Verbesserung der

Gleichgewichtsleistung in der trainierten Aufgabe und ebenfalls in zwei nicht trainierten Aufgaben. Aber eine verbesserte Sprunghöhe als zusätzlicher Effekt konnte nicht wie bei Studien mit älteren Probandengruppen festgestellt werden (Granacher et al., 2011b; Muehlbauer et al., 2013; Taube et al., 2007). Donath et al. (2013) meinten, dass Slackline-Training eine aufgabenspezifische Anpassung zur Folge hat und nur bedingt oder gar nicht auf andere Bereiche adaptiert werden kann.

Muehlbauer et al. (2013) führten eine Trainingsstudie mit 11-12 Jahre alten Kindern durch. Das Ziel war die Überprüfung, ob sich Inlineskating-Training positiv auf die Gleichgewichtsfähigkeit und die Kraft der Kinder auswirkt. Die Kinder hatten im Sportunterricht zwei Mal pro Woche jeweils 90 Minuten Inlineskating-Training. Die Lektionen wurden niveau- und altersgerecht durchgeführt, so dass die Motivation der Kinder hoch blieb und die Kinder trotzdem genügend herausgefordert wurden. Getestet wurde das dynamische Gleichgewicht mittels „star excursion balance test“ (SEBT) und die Sprungkraft mittels CMJ. Es konnte bei der Gleichgewichtsleistung beim SEBT und bei der Sprungkraft ein signifikanter Unterschied der Interventionsgruppe vom Prä- zum Posttest gemessen werden, wohingegen die Kontrollgruppe keine Verbesserungen aufwies. Ein Nachteil des gewählten Gleichgewichtstests ist, dass er ebenfalls einen gewissen Anteil an Kraft und Beweglichkeit voraussetzt. Es ist bei dieser Testmethode nicht auszuschliessen, dass die Leistungsfortschritte auch durch eine Verbesserung der Kraft zustande gekommen sind. Muehlbauer et al. (2013) konnten trotzdem erstmals eine signifikante Verbesserung der Gleichgewichtsleistung bei Kindern in einer nicht trainierten Gleichgewichtsaufgabe feststellen.

Zu den Erkenntnissen von Muehlbauer et al. (2013) passt auch die Studie von Keller et al. (2014). In ihrer Studie mit Kindern im Alter von 13.1 Jahren (± 0.4) wurden als Trainingsintervention während vier Wochen Eislauflektionen durchgeführt. Die Lektionen wurden so geführt, dass die Motivation der Trainingsgruppe aufrechterhalten werden konnte und die Kinder alters- und niveaugerecht gefordert wurden. Die Kinder trainierten zwei Mal pro Woche 90 Minuten während dem Sportunterricht. Keller et al. (2014) massen die Gleichgewichtsfähigkeit auf dem Posturomed (frei schwingende Plattform). Auf dem Posturomed mussten die Probanden einerseits 30 Sekunden möglichst ruhig auf dem rechten Bein stehen. Andererseits mussten sie die Plattform nach einer Perturbation im einbeinigen Stand (auf dem rechten Bein) möglichst schnell wieder in Ruhe bringen. Als dritte

Testbedingung wurde der „functional reach test“ (Duncan et al., 1990) durchgeführt. Es konnte nach der Interventionsphase bei allen drei Testbedingungen eine verbesserte posturale Kontrolle bei der Trainingsgruppe, aber nicht bei der Kontrollgruppe aufgezeigt werden. Die Interventionsstudie von Keller et al. (2014) zeigte verbesserte Gleichgewichtsfähigkeiten bei Kindern in einer nicht trainierten Gleichgewichtsaufgabe. Die Autoren bewiesen, dass gewisse Gleichgewichtsaufgaben auch auf andere einen positiven Effekt haben können. Die Probandengruppe von Keller et al. (2014) war im Vergleich mit den anderen Gleichgewichtsstudien mit Kindern am nächsten beim Alter der Probandengruppe aus der hier vorliegenden Studie. Ebenfalls verwendeten Keller et al. (2014) den ungestörten Einbeinstand auf dem Posturomed als Testmethode. Dadurch kann die Arbeit von Keller et al. (2014) einen wichtigen Anhaltspunkt für die erwarteten Resultate aus dieser Studie bieten.

Mögliche Erklärungsgründe

Wie werden die unterschiedlichen Ergebnisse aus den Gleichgewichtsstudien mit Kindern erklärt? Ein möglicher Erklärungsgrund ist, dass die Effekte durch Gleichgewichtstraining vom Alter abhängig sein könnten. Es wurde mehrfach bestätigt, dass bei Kindern das neuromuskuläre System noch nicht vollständig entwickelt ist und viele fundamentale motorische Fähigkeiten noch nicht ausgereift sind (Hytonen et al., 1993, Starker et al., 2007, Williams et al., 2008). Shumway-Cook und Woollacott (1985) wie auch Riach und Hayes (1987) stellten fest, dass Kinder andere posturale Kontrollstrategien haben als Erwachsene. Shumway-Cook und Woollacott (1985) gehen davon aus, dass im Alter von 7 Jahren ein Meilenstein im Reifungsprozess der posturalen Kontrolle geschieht und sich entscheidende posturale Strategien vermutlich erst ab diesem Alter entwickeln. Diese Reifung kann nach ihrer Meinung bis in die Adoleszenz andauern. Die Autoren zeigten auf, dass 4-6 Jahre alte Kinder hauptsächlich visuelle Informationen für ihre posturale Kontrolle benutzen. Erst ab einem Alter von 7-10 Jahren werden posturale Strategien benutzt, welche auch vestibuläre und propriozeptive Informationen integrieren. Trotzdem nehmen die Autoren an, dass Jugendliche im Alter von 13-14 Jahren bereits ähnliche posturale Kontrollstrategien wie Erwachsene anwenden. Die verschiedenen neuronalen Systeme entwickeln sich beim Menschen während der Kindheit und der Jugend zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt und die Entwicklungsschritte sind individuell sehr unterschiedlich. Ab wann welches System ein erwachsenähnliches Niveau aufweist, ist noch nicht vollends klar. Daher ist es schwierig eine allgemein gültige Aussage über die Entwicklungszeitpunkte zu machen. Trotzdem konnten Ahnert und Schneider (2007) in ihrer Längsschnittstudie LOGIK festhalten, dass in der

Gleichgewichtsfähigkeit erst ab dem frühen Erwachsenenalter das Leistungsoptimum erreicht wird.

Die Probanden in der Studie von Granacher et al. (2011b) stellten im Vergleich mit den anderen Gleichgewichtsstudien mit Kindern die jüngste Gruppe dar. Als wichtiger Aspekt für das Ausbleiben eines Trainingseffektes wurde die neuronale Reifung thematisiert. Die Probandengruppe von Donath et al. (2013) war im Vergleich zur Studie von Granacher et al. (2011b) bereits 3-4 Jahre älter und hatte vermutlich bereits eine fortgeschrittene neuronalen Reifung hinter sich. Dennoch wird auch bei der Studie von Donath et al. (2013) vermutet, dass die neuronale Reifung noch nicht ausreichend ausgebildet und die Trainingsadaption von supraspinalen Zentren noch nicht vollständig möglich waren (Blanchet et al., 2012; Granacher et al., 2011b; Riach & Hayes, 1987; Shumway-Cook & Woollacott, 1985; Taube et al., 2008). Nichts desto trotz konnten Donath et al. (2013) bereits eine signifikante Verbesserung der trainierten Gleichgewichtsaufgabe sowie eine Steigerung bei drei weiteren Testbedingungen feststellen. Auch die beiden Studien (Keller et al., 2014; Muehlbauer et al., 2013) mit nochmals etwas älteren Probanden (11-13.5 Jahre) konnten verbesserte Gleichgewichtsleistungen erkennen und dies sogar in nicht trainingsspezifischen Gleichgewichtsaufgaben. Die neuronale Ausreifung und die Entwicklung von posturalen Kontrollstrategien könnten auch eine Rolle spielen, ob zusätzliche Effekte von Gleichgewichtsaufgaben zustande kommen können oder nicht. Granacher et al. (2011b) und Donath et al. (2013) konnten keine zusätzlichen Effekte von Gleichgewichtstraining feststellen. Muehlbauer et al. (2013) hingegen erkannten eine verbesserte Sprungkraft nach dem Inlineskating-Training. Bei der Studie von Keller et al. (2014) wurden keine zusätzlichen Effekte überprüft.

Trotz aller Erkenntnisse müssen diese Vergleiche kritisch betrachtet werden. Die verschiedenen Arten von Trainingsinterventionen und Testmethoden müssen berücksichtigt und mit einbezogen werden. Denn ein zweiter möglicher Erklärungsgrund für die verschiedenen Studienergebnisse könnten die unterschiedlichen Trainingsinhalte sein. Gewisse Studien (Keller et al., 2014; Muehlbauer et al., 2013) wählten alternatives Gleichgewichtstraining (Inline-Training, Eislauftraining) und konnten signifikant verbesserte Gleichgewichtsleistungen nachweisen. Wohingegen Granacher et al. (2011b) nach bereits etabliertem Gleichgewichtstrainingsprotokoll (Gruber et al., 2007) auf instabilen Unterlagen trainieren liessen, aber trotzdem keine verbesserte Gleichgewichtsfähigkeit feststellen konnten. Donath et al. (2013) liessen mit dem Slackline-Training eine spezifische

Gleichgewichtsaufgabe trainieren. Sie konnten teilweise Verbesserungen in Gleichgewichtstests feststellen, aber trotzdem blieben einige Tests ohne signifikante Resultate. Welche Trainingsintervention schlussendlich zu positiven Befunden führt, hängt wiederum nicht alleine von der Trainingsart und dem –inhalt ab. Denn es kann davon ausgegangen werden, dass die Trainingsintervention und die Testmethoden aufeinander abgestimmt sein müssen. Wenn zum Beispiel im Training andere Muskelgruppen als im Test beansprucht werden, bleiben vermutlich signifikante Ergebnisse aus (Taube et al., 2007b). Ebenso scheint es einen Unterschied zu machen, ob statisches oder dynamisches Gleichgewicht trainiert und getestet wird. Drowatzky & Zuccato (1967) hatten nämlich keine Korrelation zwischen statischer und dynamischer Gleichgewichtsaufgabe bei 12-14-jährigen Kindern festgestellt.

In den dargestellten Studien sind viele verschiedene Testmethoden gewählt worden. Diese unterschiedliche Auswahl an Tests könnte ein möglicher dritter Erklärungsgrund für die Spannweite der Resultate sein. Je nach Testbedingung werden verschiedene Faktoren stärker gewichtet. Zum Beispiel beim SEBT bei der Studie von Muehlbauer et al. (2013) wird neben der Gleichgewichtsfähigkeit auch Kraft und Beweglichkeit gefordert. Auch bei den Tests auf freischwingenden Plattformen gibt es Unterschiede. Es spielt eine Rolle ob die Tests ein- oder beidbeinig durchgeführt wurden. Ebenso kann nicht gewährleistet werden, dass die Schwierigkeit auf den verschiedenen Plattformen gleich ist. Zwar sind die meisten gewählten Testmethoden auch bereits in anderen Studien verwendet worden, jedoch jeweils in einem anderen Kontext (z.B. Altersgruppe oder Ziel der Untersuchung). Grundsätzlich kann angenommen werden, dass die Testbedingungen einen Einfluss auf die Resultate haben.

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass das Alter, die Trainingsintervention und die Testmethode einen Einfluss auf die Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit und das Auftreten von Transfer- oder zusätzlichen Effekten von Gleichgewichtstraining hat. Es scheint somit, dass ein direkter Vergleich zwischen den dargestellten Studien nicht möglich ist.

Gleichgewichtstraining mit Erwachsenen

Eine Vielzahl von Studien belegen den positiven Effekt von Gleichgewichtstraining auf die posturale Kontrolle von Erwachsenen (Granacher et al., 2010, 2011c; Heitkamp et al., 2001; Keller et al., 2012; Pfusterschmied et al., 2013). Über einige Studienergebnisse soll nachfolgend einen Einblick gewährt werden.

Granacher et al. (2010) führten eine Untersuchung mit 19 (± 1.5) Jahre alten Schülern/-innen durch. Es wurde ein klassisches Gleichgewichtstraining auf instabilen Unterlagen (Gruber et al., 2007) während dem Sportunterricht in der Schule durchgeführt. Die Intervention dauerte vier Wochen und es fanden drei Trainings pro Woche von jeweils 30 Minuten statt. Zwei der drei Trainings waren im Sportunterricht integriert und ein Training mussten die Probanden zuhause absolvieren. Getestet wurden die Studienteilnehmer auf einer Gleichgewichtsplattform (Schwankung des Körperschwerpunkts), auf einer Kraftmessplatte (Squat Jumps und CMJ) und auf einer Beinpress-Kraftmaschine (Maximal- und Explosivkraft der Beinstrecker-Muskeln). Die Interventionsgruppe konnte durch das Gleichgewichtstraining die posturale Kontrolle verbessern, die Sprunghöhe (bei beiden Sprungformen) und die Explosivkraft der Beinstrecker-Muskeln erhöhen. Der Unterschied bei der posturalen Kontrolle kam durch die Verbesserung zwischen Prä- und Posttest zustande, wobei zwischen Interventions- und Kontrollgruppe eine signifikante Interaktion bestand. Als Vorbehalt der Studie gilt, dass die neuromuskulären Mechanismen nicht untersucht werden konnten. Dadurch konnte nicht abschliessend beurteilt werden, ob die positiven Ergebnisse auch durch Lerneffekte der Testbedingungen beeinflusst wurden. Die Autoren gingen aber davon aus, dass physiologische Anpassungen für die Effekte verantwortlich sind. Ein Muskelzuwachs kann ausgeschlossen werden, weil die Trainingsperiode von vier Wochen dafür zu kurz war. Mit diesen Resultaten zeigten Granacher et al. (2010) auf, dass bei jungen Erwachsenen Training auf instabilen Unterlagen wirkungsvoll für die Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit sein kann und sich ebenfalls positive zusätzliche Effekte von Gleichgewichtstraining erkennen liessen.

Zwei Studien mit Slackline-Training bei jungen Erwachsenen (Keller et al., 2012; Pfusterschmied et al., 2013) wiesen verbesserte posturale Stabilität nach dem Training auf. Keller et al. (2012) stellten nach dem Slackline-Training eine verbesserte Leistung auf der Slackline, eine bessere posturale Kontrolle auf einem Balanceboard und einen reduzierten H-Reflex bei gleichbleibendem Hintergrund EMG fest. Pfusterschmied et al. (2013) fanden bei

ihren Untersuchungen heraus, dass sich der Schwankweg beim Einbeinstand in antero-posterioren Richtung verkleinerte, sowie bei den Perturbationsaufgaben eine signifikante Verbesserung stattfand. Somit konnte aus beiden Studien erkannt werden, dass Slackline-Training nicht nur die trainingsspezifische Leistung, sondern auch die posturale Kontrolle bei jungen Erwachsenen verbessern kann.

Heitkamp et al. (2001) führten eine Studie mit Erwachsenen (32, ± 6 Jahre) durch und verglichen eine Gleichgewichts- mit einer Krafttrainingsgruppe. Während sechs Wochen wurde zwei Mal pro Woche 25 Minuten trainiert. Es konnte festgestellt werden, dass beide Gruppen einen Kraftzuwachs erzielten sowie bei der Testmethode des Einbeinstands besser abschnitten. Auf dem Stabilometer (dynamische Gleichgewichtsaufgabe) konnte sich aber nur die Gleichgewichtstrainingsgruppe signifikant verbessern. Ebenfalls wies die Gleichgewichtsgruppe einen geringeren Kraftunterschied der Maximalkraftwerte zwischen beiden Beinen auf. Somit wirkt das Gleichgewichtstraining, im Vergleich zum Krafttraining, bei dieser Untersuchung ausgeglichener und vielseitiger. Gleichgewichtstraining scheint aber besonders effektiv zu sein, wenn es zusammen mit Krafttraining kombiniert wird (Gruber et al., 2007).

Gleichgewichtstraining mit Senioren

Es wurde aufgezeigt, dass bei Senioren die posturale Kontrolle im Vergleich zu jungen Erwachsenen abnimmt (Granacher et al., 2006). Im Laufe des Alterungsprozesses können degenerative Erscheinungen des neuromuskulären und somatosensorischen Systems auftreten (Taube et al., 2010). Weiter konnte bei Senioren reduzierte Nervenleitgeschwindigkeit erkannt werden (Dorfman & Bosley, 1979). Diese Faktoren können unter anderen dazu beitragen, dass ältere Menschen ein erhöhtes Sturzrisiko aufweisen (Granacher et al., 2010). Leider haben Stürze gerade bei Senioren oftmals körperlich beeinträchtigende Folgen. Granacher et al. (2006) demonstrierten jedoch, dass durch Gleichgewichtstraining den negativen Effekten des Alterns zum Teil entgegen gewirkt werden konnte. Granacher et al. (2006) konnten in ihrer Studie verbesserte Kompensationsreaktionen von Gangperturbationen feststellen. Dieser Effekt kommt vor allem der Sturzprophylaxe zugute. Es wurde angenommen, dass Senioren durch Gleichgewichtstraining ebenfalls ihre Angst vor dem Stürzen senken konnten. Deshalb konnte ihre posturale Kontrolle verbessert, sowie die Ganggeschwindigkeit erhöht werden konnte.

Positive Effekte auf die posturale Kontrolle konnten auch durch verschiedene Trainingsformen wie Skifahren bei Senioren (Lauber et al., 2011) oder Inlineskating bei Senioren (Taube et al., 2010) erkannt werden. Taube et al. (2010) führten während fünf Wochen insgesamt 13 Trainingseinheiten durch. Die Probanden bestanden aus einer Trainingsgruppe mit 14 Personen im Alter von 67 (± 4) Jahren und einer Kontrollgruppe mit 8 Personen im Alter von 69 (± 3) Jahren. Die Autoren testeten die Probanden vor und nach der Intervention in verschiedenen Gleichgewichtstests mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden. Auf der Kraftmessplatte mussten die Probanden beid- und einbeinig möglichst ruhig stehen, dies einmal mit und einmal ohne Therapiekreisel. Auf der freischwingenden Plattform (Posturomed) mussten die Probanden ebenfalls beid- und einbeinig möglichst ruhig stehen, wiederum jeweils mit und ohne Perturbation. Als dritte Testmethode absolvierten die Teilnehmer den „Functional Reach Test“ (Duncan et al., 1990). Die Kontrollgruppe wies in keinem der Tests signifikante Verbesserungen auf. Die Teilnehmer der Trainingsgruppe hingegen verbesserten sich in allen Testbedingungen. Weiter ist interessant, dass die grössten Fortschritte in den anspruchsvollsten Gleichgewichtstests beobachtet wurden (Einbeinstand auf dem Therapiekreisel, bzw. mit Perturbation). Es konnte ein statistisch abgesicherter Zusammenhang zwischen der Aufgabenschwierigkeit und dem Ausmass der Trainingsanpassung gefunden werden. Die Autoren vermuteten, dass die einfachen Testbedingungen zu wenig die funktionell relevanten Gleichgewichtsdefizite aufdecken konnten. Abschliessend war der Studie zu entnehmen, dass Inline-Training die posturale Kontrolle bei Senioren verbessern kann. Weiter wurde die funktionelle Relevanz der Trainingsintervention hervorgehoben. Gerade in den anspruchsvollsten Testbedingungen, welche vermutlich das grösste Sturzrisiko haben, waren die grössten Verbesserungen zu erkennen.

Statische und dynamische Gleichgewichtsaufgaben

Gleichgewichtsaufgaben können in statischer und dynamischer Form stattfinden. In der statischen Bedingung ist der Untergrund stationär fest und nur der Körperschwerpunkt bewegt sich. Beim dynamischen Gleichgewicht bewegt sich der Untergrund und der Körperschwerpunkt (Granacher et al., 2011a). Es wird vermutet, dass es eine Rolle spielt, ob statische oder dynamische Gleichgewichtsaufgaben trainiert respektive getestet werden. Es wurde von Muehlbauer et al. (2013) angenommen, dass statisches und dynamisches Gleichgewicht von unterschiedlichen neuronalen Mechanismen reguliert werden. Dadurch könnte eine Verbesserung in der einen Gleichgewichtsbedingung sich nicht zwingend in der

anderen auswirken. Diese Annahme basiert auf der Erkenntnis von Drowatzky & Zuccato (1967). Sie haben keine Korrelation zwischen statischer und dynamischer Gleichgewichtsaufgabe bei 12-14-jährigen Kindern festgestellt. Zusätzlich hatten Yaggie & Campbell (2006) in ihrer Studie erwähnt, dass die Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit nur limitiert auf andere Sportaktivitäten transferiert werden kann. Sie vermerkten, dass Gleichgewicht aufgabenspezifisch ist, respektive davon abhängt, ob eine statische oder dynamische Aufgabe vorherrscht. Auch Donath et al. (2013) vermuteten bei ihrer Studie mit Slackline-Training bei 9-10 jährigen Kindern, dass dies einen Einfluss hat. Donath et al. (2013) konnten bei vielen nicht trainierten Gleichgewichtsaufgaben keine signifikante Verbesserung durch das Slackline-Training feststellen. Wohingegen Muehlbauer et al. (2013) mit dem Inlineskating-Training einen Fortschritt in dynamischen Gleichgewichtsaufgaben erkennen konnte. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anpassungen durch Gleichgewichtstraining vom Kontext abhängig sind (Taube et al., 2008). Für die hier vorliegende Studie ist es von Bedeutung, wie die Probanden auf statische und dynamische Aufgaben reagieren, weil beide Gleichgewichtsarten trainiert und getestet werden.

Einsatzbereiche von Gleichgewichtstraining

Gleichgewichtstraining findet durch seine Vorteile vielseitige Einsatzbereiche. Es wird im Leistungssport ebenso verwendet wie im Präventions- und Rehabilitationsbereich. Auch im Schulsport hat die Thematisierung des Gleichgewichtes in verschiedenen Formen einen festen Platz im Lehrplan gefunden. Im Leistungssport findet das Gleichgewichtstraining vor allem durch den präventiven Charakter und die Leistungssteigerung (Gleichgewichtsfähigkeit und Zusatzeffekte) seine Legitimation. Inwiefern sich Gleichgewichtstraining präventiv auswirkt und wie es auch bei Rehabilitationsprozessen helfen kann, soll nachstehend kurz beleuchtet werden.

Prävention

Eine Vielzahl von Studien bestätigten die präventiven Wirkungen von Gleichgewichtstraining. Hübscher et al. (2010) fassten eine Auswahl von entsprechenden Studien zusammen. Somit gilt es als gesichert, dass sich die Verletzungsrate von Knie- und Sprunggelenksverletzungen durch Gleichgewichtstraining reduzieren lassen. Spezifisch dazu untersuchten Taube et al. (2007b) die Verletzungshäufigkeit nach Gleichgewichtstraining bei Sportarten ohne Körperkontakt. Auch sie kamen zum Schluss, dass Gleichgewichtstraining einen präventiven Einfluss hat. Weiter konnte Gleichgewichtstraining auch erfolgreich als Instrument eingesetzt werden, um das Wiederauftreten von Verletzungen zu verhindern

(Verhagen et al., 2004). Für ältere Altersgruppen oder Personen mit einer geschwächten oder geschädigten posturalen Kontrolle scheint es offensichtlicher, dass Gleichgewichtstraining einen prophylaktischen Einfluss hat. Denn eine verbesserte posturale Kontrolle kann das Sturzrisiko senken (Granacher et al., 2011a) und somit nachhaltig zur Verletzungsprophylaxe dienen. Granacher et al. (2006) konnten durch Gleichgewichtstraining einen positiven Effekt auf die Körperhaltung feststellen, was ebenfalls zur Prävention von Verletzungen helfen kann.

Welche Mechanismen genau für diese Verletzungsreduktion verantwortlich sind, ist noch unklar (Taubе, 2013). Es besteht die Meinung, dass ein optimierter Ablauf spinaler Reflexmechanismen dafür verantwortlich sei (Gruber et al., 2006). Allerdings wurde auch aufgezeigt, dass bei schnell ablaufenden Traumata die Latenz spinaler Reflexantworten zu lange ist, um schützend einwirken zu können (Thacker et al., 1999). So hinterfragten auch Panics et al. (2008) diese Vermutung, ob sich die Verletzungsreduktion wirklich der verbesserten Sensorik zuschreiben lässt. Taube (2013) nahm an, dass ein Feedforward-Mechanismus die wahrscheinlichste Erklärung für die Verletzungsreduktion darstellt. Er ging davon aus, dass sich Personen mit hoher posturalen Kontrolle durch optimierte Bewegungsausführungen auszeichnen, welche von vornherein verhindern, dass kritische Gelenkpositionen eingenommen werden.

Rehabilitation

Auch bei Rehabilitationsprozessen können Gleichgewichtsaufgaben förderlich sein (Freeman et al., 1965; Henriksson et al., 2001). Bereits vor einiger Zeit stellten Freeman et al. (1965) fest, dass Gleichgewichtstraining die Regeneration von neuromuskulären Verletzungen positiv beeinflusst. Es wurde in ihrer Studie aufgezeigt, dass durch Gleichgewichtstraining mehr Patienten wieder zu einer posturalen Stabilität gelangen, als bei vollständiger Immobilisation oder bei passiver Bewegung. Ebenfalls zeigten die Autoren auf, dass durch Gleichgewichtstraining nach einer Fussgelenksverletzung die posttraumatische Propriozeptivität verbessert werden konnte.

Gleichgewichtstraining kann aber noch einen weiteren Vorteil bringen. Beinert & Taube (2013) kamen bei ihrer Studie zum Schluss, dass Gleichgewichtstraining Nackenschmerzen reduzieren kann. Bei Personen mit Nackenschmerzen konnten die Körperschwankungen gesenkt und dadurch die posturale Stabilität erhöht werden. Die Probandengruppe konnte nach fünf Trainingswochen den Kopf besser in bestimmte vorgegebene Positionen bewegen und die Schmerzempfindlichkeit der Nackenwirbelsäule konnte reduziert werden.

Gleichgewichtstraining ist für alle Anspruchs- und Leistungsgruppen zugänglich und gut durchführbar. Dies macht den Einsatz im Rehabilitations- und Präventionsbereich noch wichtiger und unterstreicht die Relevanz für die Praxis (Taube, 2013).

Körperliche Anpassungen durch Gleichgewichtstraining

Mehrere Studien haben die neuronalen Anpassungen und Auswirkungen von Gleichgewichtstraining untersucht, um herauszufinden, wie die verbesserte Gleichgewichtsfähigkeit zustande kommen kann (Taube et al., 2008). Es kann davon ausgegangen werden, dass die neuronalen Anpassungen nach Gleichgewichtstraining abhängig vom Kontext sind (Alter, Gleichgewichtsaufgaben/Sportart, Niveau, Körperliche Belastung). Dadurch können teilweise auch unterschiedliche Studienergebnisse erklärt werden, wie zum Beispiel, dass nach Gleichgewichtstraining bei 6-7 Jährigen Kindern noch kein signifikanter Trainingseffekt erkannt werden konnte (Granacher et al., 2011b). Oder zum Beispiel auch dass bei Senioren die Aufgabenschwierigkeit mit dem Ausmass der Trainingsanpassung korreliert (Taube et al., 2010). Die körperlichen Anpassungen durch Gleichgewichtstraining finden nicht nur in einem Areal, sondern auf mehreren Ebenen statt. In der Literatur wird zwischen spinalen und supraspinalen Reflexmodulierungen unterschieden (Taube et al., 2008). In der Abbildung 2 sind die neuronalen Anpassungsreaktionen nach einer Gleichgewichtstrainingsphase vereinfacht dargestellt.

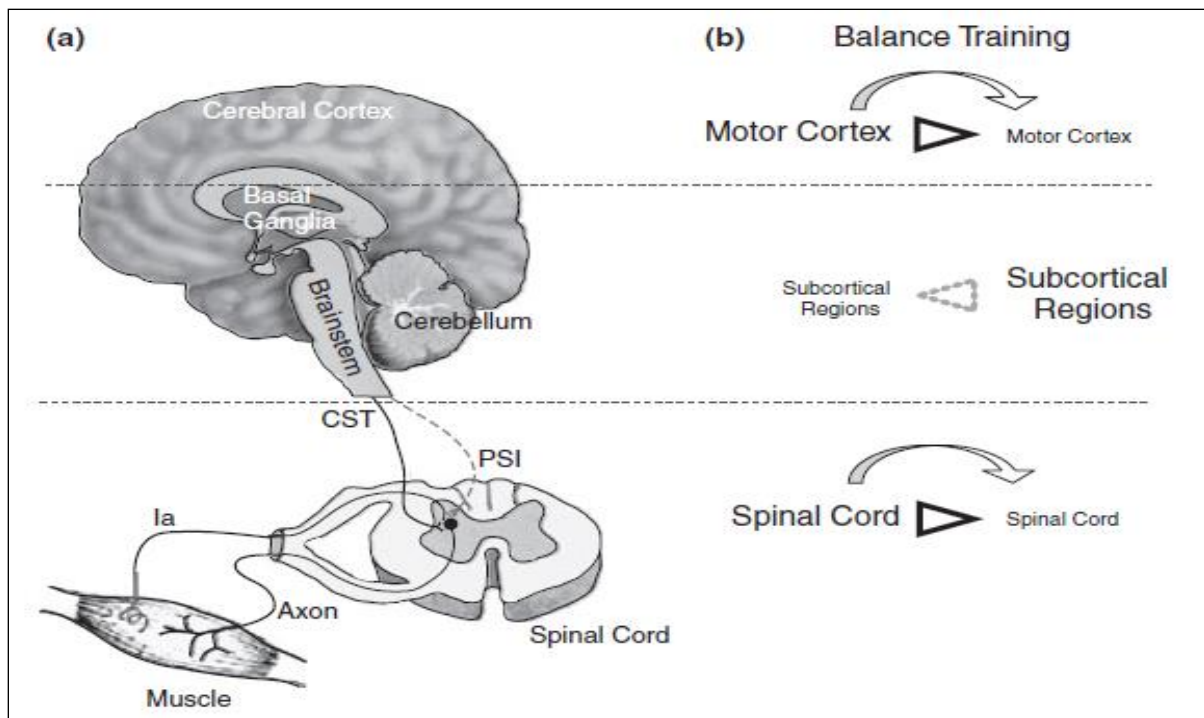


Abb. 2 : Vereinfacht dargestellte neuronale Anpassungsreaktionen nach Gleichgewichtstraining. **(a)** bildet Strukturen ab, die für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts von Bedeutung sind. Sensorische Informationen von visuellen, vestibulären, kutanen und propriozeptiven Rezeptoren werden in die posturale Kontrolle integriert. Über Ia- und II-Afferenzen signalisieren Muskelspindeln Änderungen der Muskellänge zu spinalen und supraspinalen (nicht dargestellt) Zentren. Die frühen Anteile kompensatorischer Gleichgewichtsreaktionen werden auf spinaler Ebene verarbeitet. Spätere Muskelantworten („Long-loop“-Reflexe, die nach etwa 90-100ms auftreten) stammen von kortikalen Zentren und werden über den Kortikospinaltrakt (KST) zum α -Motoneuron vermittelt. **(b)** Weder das Rückenmark noch die supraspinalen Zentren generieren stereotype kompensatorische Reaktionen infolge von Störungen des Gleichgewichts. Erfahrung (z.B. durch Gleichgewichtstraining gewonnen), Antizipation bzw. der jeweilige Kontext nehmen Einfluss auf die posturale Antwort. Gleichgewichtstraining reduziert die spinale Erregbarkeit, wahrscheinlich über eine erhöhte präsynaptische Inhibition (PSI). Diese Hemmung ist in der untersten Zeile der Abbildung durch einen Pfeil (\triangleright) symbolisiert. Die kortikale Erregbarkeit nimmt ebenfalls nach Gleichgewichtstraining ab (erste Zeile der Abbildung). Die Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit nach Gleichgewichtstraining wird daher vermutlich durch eine verbesserte Bewegungskontrolle subkortikaler Strukturen gewährleistet (mittlere Zeile, durch \triangleleft symbolisiert). Abbildung aus Taube et al., 2008, S. 111 und Abbildungstext aus Taube, 2013, S. 60.

Spinale Anpassungen

Spinale Anpassungen werden sehr situationsspezifisch reguliert. Es scheint entscheidend zu sein, ob die Reflexantwort funktionell relevant ist oder nicht. Wenn der Organismus die Reflexantwort als kontraproduktiv einstuft, dann unterdrückt er die Antwort (Taube et al., 2007b). Hier kann als Beispiel die Studie mit jungen Erwachsenen von Keller et al. (2012) auf der Slackline genannt werden. Die Probanden wiesen nach mehrwöchigem

Gleichgewichtstraining eine Reduktion der spinalen Reflextätigkeit auf. Das zentrale Nervensystem scheint die Reflexantwort zu hemmen, weil sie für die posturale Kontrolle auf der Slackline nachteilig ist. Zu viele reflektorische Korrekturbewegungen auf der Slackline führen zu grossen Schwankungen und weniger Bewegungskontrolle. Weiter konnte festgestellt werden, dass bei komplexen herausfordernden Gleichgewichtsaufgaben die Reflexantwort ebenfalls gehemmt wird. Llewellyn et al. (1990) hatten bei ihrer Probandengruppe nachgewiesen, dass je anspruchsvoller die posturale Bedingung ist, umso grösser die Unterdrückung der spinalen Reflexe wirkt. Die Autoren liessen die Probanden zum einen über einen Schwebebalken balancieren und zum anderen auf einem Laufband laufen. Dabei waren die elektrisch evozierten Reflexe (H-Reflex durch periphere Nervenstimulation) auf dem Schwebebalken, im Vergleich zu den Reflexen auf dem Laufband, stark gehemmt.

Weshalb könnte die Reflexantwort in anspruchsvollen Gleichgewichtsaufgaben gehemmt werden? Eine mögliche funktionelle Erklärung könnte sein, dass dadurch reflektorisch induzierte Gelenksoszillationen entgegengewirkt werden kann (Llewellyn et al., 1990). Weiter wird angenommen, dass durch die Unterdrückung der spinalen Reflexe sich auch die muskuläre Aktivierung von primär spinalen zu vermehrt supraspinalen Zentren verlagert. Dies scheint sich wiederum in einer verbesserten Bewegungskontrolle auszuwirken (Solopova et al., 2003).

Was passiert mit der Reflexantwort, wenn der Organismus den Reflexbeitrag als funktionell relevant einstuft? In diesem Fall konnte festgestellt werden, dass die Reflexantwort sogar gebahnt werden kann. Granacher et al. (2006) konnten bei einer dreizehn-wöchigen Gleichgewichtstrainingsstudie mit Gangperturbationen bei Senioren aufzeigen, dass sich die Reflexantwort steigerte. Die Probanden konnten ihre posturale Kontrolle verbessern, obwohl die kompensatorischen Reflexbeiträge erhöht waren. Ebenfalls kann eine Bahnung spinaler Reflexe beobachtet werden, wenn die Gleichgewichtsaufgabe für das Individuum banal und wenig herausfordernd ist. Dieses Ergebnis war beispielsweise in der Studie von Taube et al. (2008) ersichtlich. Sie vereinfachten ihre Gleichgewichtstestaufgabe mit einem visuellen Feedback und stellten dabei eine Reflexbahnung fest. Somit scheint die funktionelle Relevanz oder die Einfachheit der Gleichgewichtsaufgabe die Reflexbeiträge zu erhöhen.

Supraspinale Anpassungen

Die kompensatorische Reaktion auf eine posturale Störung wird von kortikalen Regionen beeinflusst. Horak et al. (1989) fanden heraus, dass die Antwortreaktion überdimensioniert wurde, wenn die Probanden die Perturbation grösser erwarteten, als sie tatsächlich ausfiel. Gegenätzlich fiel die Kompensationsreaktion zu klein aus, wenn die Teilnehmer die Störung als zu klein einschätzten. Deshalb schlussfolgerten die Autoren, dass periphere und zentrale Mechanismen an der Kompensationsreaktion von posturalen Aufgaben beteiligt sind. Die Antizipation, respektive Erfahrung und Vorwissen, haben einen Einfluss auf den Antwortbeitrag. Durch elektrophysiologische Methoden konnten mehrere Studien den Beweis bringen, dass eine verbesserte Gleichgewichtskontrolle mit kortikaler Plastizität in Zusammenhang steht (Beck et al., 2007; Schubert et al., 2007; Taube et al., 2007). In allen drei Studien ist ersichtlich, dass die Probanden nach Gleichgewichtstraining eine reduzierte kortikale Aktivität aufwiesen. In Taube et al. (2007a) konnte sogar festgestellt werden, dass je mehr die Person die kortikale Aktivität reduziert hatte, umso grösser die Verbesserung der Gleichgewichtskontrolle war. In den drei erwähnten Studien wurden neben der reduzierten kortikalen Erregbarkeit ebenfalls reduzierte (Taube et al., 2007a) oder gleich bleibende spinale Beiträge (Beck et al., 2007; Schubert et al., 2007) und nicht signifikant reduzierte muskuläre Aktivität festgestellt. Daraus folgerten Taube et al. (2008), dass subkortikale Zentren ihren Beitrag zur Bewegungskontrolle erhöht haben müssen. In die gleiche Richtung ging schon die Vermutung von Puttemans et al. (2005) beim Erlernen von feinmotorischen Aufgaben. Sie nehmen an, dass je mehr die Bewegung automatisiert wird, umso wichtiger wird der Einfluss von Cerebellum und Basalganglien.

Es wird davon ausgegangen, dass mehrjähriges Training zu strukturellen Änderungen führt. Bei professionellen Tänzern und Slacklinern konnten Unterschiede im Hippocampus, im Vergleich zu Freizeitsportlern, festgestellt werden (Hüfner et al., 2011). Dem Hippocampus wird eine hohe Relevanz für das Lernen, die Navigation und das Aneignen von räumlichen Koordinaten zugeschrieben. Tänzer und Slackliner verfügen über eine exzellente Gleichgewichtsfähigkeit und scheinen über die Jahre gelernt zu haben, wie sie die destabilisierenden Einflüsse des Vestibularapparates hemmen können. Die Autoren stellten nämlich bei den Tänzern und Slacklinern eine kleinere anteriore Hippocampusformation fest als bei den Kontrollprobanden. Gleichzeitig folgert man, dass die Vergrösserung in der posterioren Hippocampusformation auf die vermehrte Integration visueller Informationen zurück zu führen ist. Trotzdem müssen die Resultate noch mit Vorsicht genossen werden.

Gemäss Taube (2013) können Querschnittsstudien keinen Aufschluss über die Entwicklung beziehungsweise die Plastizitätsvorgänge an sich geben. Man weiss noch nicht, ob bestimmte kortikale Voraussetzungen für gewisse Sportarten prädestiniert sind oder sich die Gehirnstrukturen durch das lange Training ausbilden (Taube, 2013).

Für die vorliegende Studie können die zugrunde liegenden neuronalen Anpassungen nicht überprüft werden. Trotzdem scheinen die verschiedenen Erkenntnisse relevant. Sollten Transfer- oder zusätzliche Effekte von Gleichgewichtstraining erkennbar sein, dürfen neuronale Anpassungen vermutet werden. Es wird erwartet, dass es eine Rolle spielt, ob die Probanden die Perturbationsrichtung und –stärke antizipieren können oder nicht. Unterschiede zwischen antizipierbaren und nicht-antizipierbaren Störungen der posturalen Kontrolle konnten bereits in Studien mit Erwachsenen nachgewiesen werden und legen dadurch auch die Grundlage für die erwarteten Resultate aus den Messungen dieser Untersuchung (Bugnariu & Sveistrup, 2005).

1.3.Ziel und konkrete Fragestellung

Mit dieser Studie soll Wissen über die Trainierbarkeit der Gleichgewichtsfähigkeit bei Jugendlichen im Alter von 14-15 Jahren generiert werden. Mit verschiedenen Testbedingungen (statisch und dynamisch) soll geprüft werden, ob und welche Transfer- und Zusatzeffekte durch die Trainingsinterventionen zustande kommen. Es soll herausgefunden werden, ob Unterschiede in den Resultaten zwischen antizipierbaren und nicht-antizipierbaren Störungen der posturalen Kontrolle erkennbar sind.

H1: Die statischen Testresultate nach der Trainingsintervention unterscheiden sich signifikant im Vergleich zu den Resultaten der Prätests.

H2: Die dynamischen Testresultate nach der Trainingsintervention unterscheiden sich signifikant im Vergleich zu den Resultaten der Prätests.

H3: Die posturalen Kontrolle bei antizipierbaren Störungen ist signifikant besser als bei den nicht-antizipierbaren Störungen.

H4: Es können signifikante Unterschiede bei den zusätzlichen Effekten von Gleichgewichtstraining erkannt werden (Explosivkraft, CMJ).

2. Methoden

2.1. Probanden

15 Jugendliche (9 weiblich, 6 männlich) im Alter zwischen 14-15 Jahren (Mittelwert: 14.5, ± 0.5 Jahre) wurden ausgewählt. Die Probanden hatten im Mittel ein Gewicht von 56.3 (± 9.1) kg und eine Grösse von 163.4 (± 9.0) cm. Die Probanden befanden sich alle in der gleichen Schulklasse. Für alle Teilnehmer/-innen wurde das biologische Alter nach Mirwald (Mirwald et al., 2002) erhoben. Wenn die Körpergrösse eines Probanden unter dem zehnten oder über dem neunzigsten Perzentil ihrer Altersgruppe lag, konnte die Person für diese Untersuchung nicht berücksichtigt werden. Dies war nicht der Fall, deshalb ergab sich ein $n=15$. Eine Probandengruppe von 15 Personen ist eine relative kleine Gruppengrösse, aber viele Studien haben bereits gezeigt, dass mit dieser Gruppengrösse oder sogar noch kleineren Grössen statistisch signifikante Resultate gefunden werden konnten (Donath et al. 2013, Heitkamp et al. 2000, Keller et al. 2014, Muehlbauer et al. 2013). Alle Probanden haben die Einverständniserklärung unterschrieben und der Teilnahme an der Untersuchung zugestimmt. Ebenfalls haben alle gesetzlichen Vertreter der Probanden sowie das kantonale Amt für obligatorischen Unterricht der Studienteilnahme zugestimmt. In dieser Studie wurde keine Kontrollgruppe erfasst. Die vorliegende Studie ist ein Teil einer grösseren Untersuchung der Gleichgewichtsfähigkeit in verschiedenen Altersstufen. Die angewendeten Tests werden ebenfalls mit anderen Altersgruppen durchgeführt. Die Testergebnisse der Kontroll- und anderen Altersgruppen werden in weiteren Studien beschrieben.

2.2. Trainingsintervention

Die Probanden nahmen an einer fünf-wöchigen Trainingsphase teil. Dabei trainieren sie zwei Mal pro Woche während dem regulären Sportunterricht in der Schule. Die beiden Trainings waren aufgeteilt auf eine Einzellektion, mit einer effektiven Trainingszeit von 30 Minuten und eine Doppellektion, mit effektiver Trainingszeit von 60 Minuten. Somit Trainierten die Probanden total 450 Minuten ihr Gleichgewicht. Die Trainings bestanden aus klassischem Gleichgewichtstraining auf instabilen Unterlagen wie zum Beispiel „Wackelbretter, Kipp-Kreisel, Bretter auf Rollen, Matten oder Kissen“, aber auch aus vielen spielerischen Teilen wie zum Beispiel Kampfspiele oder anderen Balancierübungen. Ebenfalls wurde während zwei Wochen das Thema Parkour behandelt. Die Lektionen wurden eigens für diese

Altersstufe und für diese Studie ausgearbeitet. Alle Lektionsinhalte sowie allfällige Trainingsabwesenheiten der Probanden werden transparent dokumentiert (siehe Anhang). Die Lektionen wurden in einer Vorstudie geprüft (Bislin et al., 2015) und als geeignet gewertet. Die Trainingsinhalte wurden einerseits aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse ausgewählt und andererseits möglichst attraktiv für die Altersgruppe gestaltet. So wurde versucht die Motivation der Probandengruppe möglichst hoch zu halten und die Jugendlichen zum Üben von Gleichgewichtsaufgaben anzuregen. Die klassischen Gleichgewichtsaufgaben auf instabilen Unterlagen wie sie zum Beispiel von Granacher (2007a) beschrieben wurden, sind bereits etabliert und deren positive Auswirkung auf die Gleichgewichtsfähigkeit bestätigt (Granacher et al. 2010, Taube et al. 2007). Eine Ausnahme bildete die Studie von Granacher et al. (2011b) mit 6-7 Jahre alten Kindern. Sie konnten keine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit nachweisen. Da die Probanden bei der hier vorliegenden Studie jedoch klar älter sind als bei der Studie von Granacher et al. (2011b), wird erwartet, dass die Trainingsinhalte wirksam sein sollten.

Die Interventionsdauer von fünf Wochen wurde aufgrund von positiven Erfahrungswerten aus anderen Studien (Granacher et al. 2010, Keller et al. 2014, Muehlbauer et al. 2013) und aufgrund des Schulkalenders gewählt. Längere Trainingsphasen ohne Unterbruch durch Schulferien waren nicht möglich, da ebenfalls zusätzliche Zeit für die Prä- und Posttests einberechnet werden musste.

Tab. 1 : Übersicht Lektionsthemen

Trainingswoche	Thema
1	Gleichgewicht 1
2	Gleichgewicht 2
3	Parkour 1
4	Parkour 2 / Wetteifern
5	Kämpfen

2.3.Messmethoden

In bisherigen Untersuchungen wurden verschiedene Tests zur Prüfung der Gleichgewichtskontrolle nach einer Trainingsphase benutzt. In Studien wurde erwähnt (Smithson et al., 1998, Taube et al., 2010), dass ein Trainingsfortschritt nicht aufgezeigt werden kann, wenn die Testbedingungen zu wenig herausfordernd gewählt werden. In dieser

Studie wurden mehrere Testbedingungen gewählt. Die Resultate sollen miteinander verglichen und allfällige Transfer- und Zusatzeffekte erkannt werden. Ebenfalls wurden zum ersten Mal antizipierbare und nicht-antizipierbare Gleichgewichtsstörungen bei Jugendlichen getestet.

2.3.1. Posturomed (Haider, Bioswing, Pullenreuth, Germany)

Die Plattform war an vier Ecken befestigt und in der transversalen Achse (medio-lateral und antero-posterior) frei bewegbar. Der maximale Bewegungsradius beträgt 70mm. Am Posturomed waren zwei Marker angemacht. Diese wurden mit Infrarot-Kameras erfasst und die Bewegungen der Plattform aufgezeichnet (Vicon Motion Systems Ltd., UK). Die Plattform „Posturomed“ war mit einer Steuerung angeschlossen. Die Plattform hatte auf der Unterseite eine Vorrichtung, um die Platte in eine gewünschte Richtung bewegen zu können und so eine Perturbation auszulösen. Der Bewegungsumfang war je nach Perturbationsrichtung immer gleich gross.

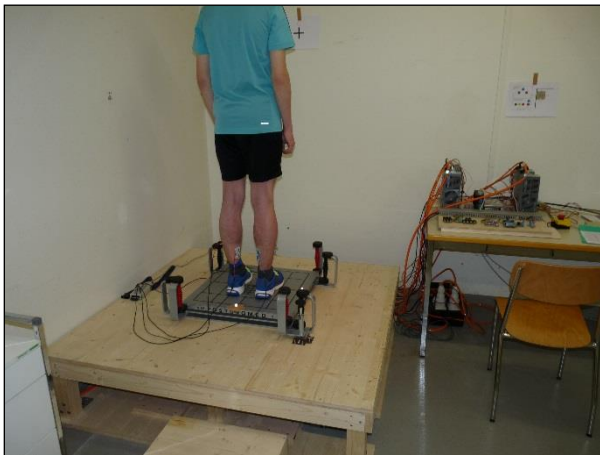


Abb. 3 : Posturomed

2.3.1.1. Ohne Perturbation

Beidbeiniger Stand

Die Probanden mussten beidbeinig hüftbreit auf die frei schwingende Plattform stehen. Die Hände wurden auf die Hüfte gelegt und die Beine leicht gebogen (30° Flexion). Der Blick war geradeaus auf eine Markierung an der Wand gerichtet. Nun mussten die Probanden während 20 Sekunden möglichst ruhig stehen bleiben. Alle Probanden hatten drei Versuche und der beste Versuch wurde ausgewertet.

Einbeiniger Stand

Die Probanden mussten einbeinig, mit dem rechten Bein, auf der frei schwingende Plattform stehen. Die Hände wurden auf die Hüfte gelegt und das Bein leicht gebogen (30° Flexion). Der Blick war geradeaus auf eine Markierung an der Wand gerichtet. Nun mussten die Probanden während 20 Sekunden möglichst ruhig stehen bleiben. Alle Probanden hatten drei Versuche und der beste Versuch wurde weiterverwendet. Falls die Probanden nicht während der vorgegebenen Zeit auf einem Bein stehen bleiben konnten, wurde die Zeit bis zum Abbruch notiert. Wenn die Probanden keinen der drei Versuche nach Vorgaben beenden konnten, wurde dieser Proband nicht in die Auswertungen miteinbezogen.

2.3.1.2. Mit Perturbation

Antizipierbare Perturbation

Die Probanden standen beidbeinig hüftbreit auf der Plattform. Gleiche Position wie bei den Tests ohne Perturbation. Die Perturbationen wurden in einer zufälligen Reihenfolge durchgeführt (medio-lateral oder antero-posterior), jedoch immer vier Mal hintereinander in die gleiche Richtung. Den Probanden wurde drei bis fünf Sekunden vor der Auslösung die entsprechende Perturbationsrichtung mitgeteilt. Die Probanden mussten nach der Perturbation versuchen, die Plattform so schnell wie möglich in Ruhe zu bringen und 10 Sekunden möglichst still stehen zu bleiben. Jede Perturbationsrichtung wurde vier Mal getätigt, somit wurden total sechzehn antizipierbare Perturbationen durchgeführt.

Nicht-antizipierbare Perturbation

Die Probanden standen beidbeinig hüftbreit auf der Plattform. Gleiche Position wie bei den Tests ohne Perturbation. Die Perturbationen wurden in einer randomisierten Reihenfolge durchgeführt (medio-lateral oder antero-posterior). Den Probanden war die Perturbationsrichtung unbekannt. Die Probanden mussten nach der Perturbation versuchen, die Plattform so schnell wie möglich in Ruhe zu bringen und 10 Sekunden möglichst still stehen zu bleiben. Jede Perturbationsrichtung wurde vier Mal getätigt, somit wurden total sechzehn nicht-antizipierbare Perturbationen durchgeführt.

2.3.2. Kraftmessplatte (OR6-7 force platform, Advanced Mechanical Technology Inc., Watertown, MA, USA)

Die Probanden standen auf eine 508*464mm Kraftmessplatte, welche die Körperschwankungen in drei Dimensionen registrieren konnte. Alle Tests dauerten 20 Sekunden und wurden drei Mal wiederholt, wobei der beste Versuch gewertet wurde.

2.3.2.1. Stabile Gleichgewichtstests

Die Probanden absolvierten mehrere Tests. Beim Tandemstand mussten die Probanden mit einem Fuss direkt vor den anderen stehen, so dass die Füße in einer Linie waren. Die Hände wurden in der Hüfte ein gestützt und die Beine leicht gebogen (30° Flexion). Der Blick war geradeaus auf eine Markierung an der Wand gerichtet. Es wurde der Schwankweg des Körperpunktes gemessen.



Abb. 4 : Tandemstand auf der Kraftmessplatte

Weiter absolvierten die Probanden den Romberg Test (Black et al., 1982). Dabei mussten sie möglichst ruhig auf beiden Beinen stehen und die Füße direkt nebeneinander platzieren. Wiederum mit der gleichen Körperposition wie beim Tandemstand. Diese Aufgabe machten die Probanden mit offenen und mit geschlossenen Augen.



Abb. 5 : Romberg Test auf der Kraftmessplatte

2.3.2.2. Instabile Gleichgewichtstests

Ebenfalls auf der Kraftmessplatte wurde ein dynamischer Gleichgewichtstest durchgeführt. Die Probanden standen *a)* mit beiden Beinen und *b)* mit dem rechten Bein auf einem

Holzkreisel, wie er auch in der Physiotherapie genutzt wird. Zwischen der Kraftmessplattform und dem Kreisel wurde eine 10mm dünne Gummimatte gelegt, welche die Aufgabe etwas vereinfacht und zudem die Kraftmessplattform schützte. Nun mussten die Probanden wiederum 20 Sekunden möglichst ruhig, mit der gleichen Körperposition wie bei den anderen Tests, stehen bleiben.



Abb. 6 : Holzkreisel auf der Kraftmessplatte

2.3.2.3. Countermovement Jump (CMJ)

Es wurde die Leistung beim Countermovement Jump erhoben, weil durch bisherige Studien erwiesen wurde, dass Gleichgewichtstraining die Leistung im CMJ verbessern kann (Tauben et al., 2007b). Den Probanden wurde der Ablauf des CMJ eingehend erklärt und vorgezeigt. Danach hatte jeder Proband einige Übungsversuche, bei welchen der Testleiter Rückmeldungen zur Ausführung gab. Die Probanden versuchten möglichst hoch und explosiv abzuspringen. In diesem Testverfahren wurden keine Vorgaben zu den Gelenkwinkeln gemacht. Die Hände wurden jedoch erneut in der Hüfte ein gestützt. Die Probanden sprangen sechs Mal. Die Kraftverhältnisse und die Sprunghöhe wurden aufgezeichnet und für die Evaluation verwendet.

2.3.3. Isokinet (Humac Norm, Coputer Sports Medicine Inc. (CSMi), Stoughton, MA, USA)

2.3.3.1. Rate of force development (RFD)/ Explosivkraft

Studien haben gezeigt, dass sich die Explosivkraft nach Gleichgewichtstrainings verbessern kann (Gruber & Gollhofer, 2004, Gruber et al., 2007a). Die Probanden befanden sich liegend auf dem Isokinet. Der rechte Fuss wurde in einer dafür vorgesehenen Form befestigt. Der

Isokinet wurde so eingestellt, dass er die Kraftentwicklung der Probanden isometrisch mass. Die Probanden drückten so schnell und so kräftig wie möglich gegen das Pedal (Plantarflexion). Nach einigen Übungsversuchen machten die Probanden 2 Serien mit jeweils 10 Wiederholungen. Zwischen den Wiederholungen hatten die Probanden 6 Sekunden (1 Minute pro Serie) und zwischen der Serie 1 Minute Pause. Die Kraftentwicklungskurve wurde aufgezeichnet und registriert.

2.3.4. Statistische Analyse

Alle gemessenen Daten wurden zwischen Prä- und Posttest mittels Student'schem t -Test verglichen. Dabei wurde das Signifikanzlevel bei $p < 0.05$ gesetzt. Alle statistischen Auswertungen wurden mit dem Statistical Package for Social Sciences (SPSS) Version 22.0 gemacht.

3. Resultate

Alle Probanden absolvierten die Interventionsphase sowie die Prä- und Posttests. Die Resultate wurden jeweils im Verhältnis vom Prä- zum Posttest analysiert. Wenn andere Faktoren berücksichtigt wurden, ist dies vermerkt. Die Resultate wurden als Mittelwerte mit Standardabweichungen dargestellt. Die Trainingsabwesenheiten der Probanden sind dem Anhang zu entnehmen (siehe Tabelle 3).

3.1. Gleichgewichtsfähigkeit: Schwankung des Körperschwerpunktes

Tandemstand

Die Trainingsgruppe hatte sich beim Tandemstand auf der Kraftmessplatte vom Prä- zum Posttest nicht verbessert. Der Schwankweg hatte im Mittelwert zwar leicht um -2.63% abgenommen, aber es konnte keinen signifikanten Effekt festgestellt werden ($p=0.650$).

Romberg mit offenen Augen

Beim Rombergstand mit offenen Augen hatten sich die Probanden nach der Trainingsphase leicht verbessert. Der Mittelwert des Schwankwegs sank um -3.25%. Es wurde ein p -Wert von 0.656 ermittelt und liegt somit über dem Signifikanzniveau.

Romberg blind

Die Schwankung des Körperschwerpunktes beim Rombergstand mit geschlossenen Augen sank von 29.67mm (± 8.53 mm) auf 27.11mm (± 8.28 mm). Das ergab einen p -Wert von 0.051 und liegt somit nur ganz knapp über dem festgelegten Signifikanzniveau von $p < 0.05$. Nur drei von fünfzehn Probanden konnten keine reduzierten Schwankwege erzielen.

Holzkreisel beidbeinig

Die Resultate beim Gleichgewichtstest auf dem Holzkreisel mit beiden Beinen ergaben eine nicht signifikante Abnahme des Schwankwegs ($p=0.184$). Der Mittelwert nahm von 43.70mm (± 12.48 mm) auf 40.11mm (± 10.94 mm) ab.

Holzkreisel einbeinig

Eine signifikante Verbesserung nach der Trainingsphase konnte beim Test auf dem Holzkreisen auf einem Bein festgestellt werden. Die Probanden konnten den Schwankweg um -16.24% reduzieren, was ein p -Wert von 0.047 ergab.

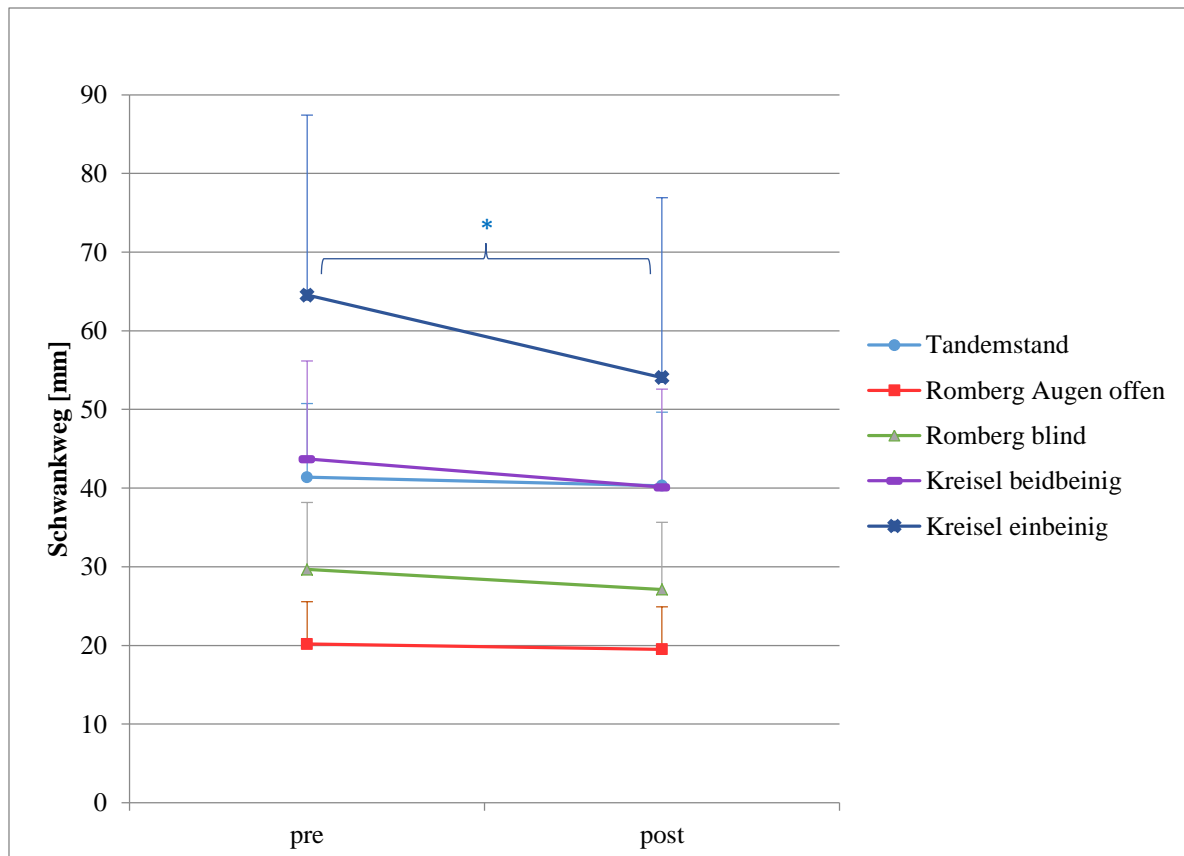


Abb. 7: Schwankweg des Körperschwerpunktes während 15s unter verschiedenen Testbedingungen auf der Kraftmessplattform. Signifikanter Unterschied beim einbeinigen Gleichgewichtstest auf dem Holzkreisel ($\ast = p < 0.05$).

Stand beidbeinig

Beim beidbeinigen Standtest auf dem Posturomed verschlechterte sich die Probandengruppe hoch signifikant ($p < 0.01$). Der Schwankweg nahm um +15.95mm von 39.60mm (± 22.70 mm) auf 55.55mm (± 22.42 mm) zu.

Stand einbeinig

Beim einbeinigen Stand auf dem Posturomed konnten nur die Daten von 13 Personen verwendet werden. Eine Person konnte die Aufgabe nicht erfüllen und bei einer Person waren die Daten aus dem Videosystem nicht verwertbar. Beim einbeinigen Stand konnte eine signifikante Verbesserung des Schwankwegs festgestellt werden ($p = 0.017$). Die Probanden konnten den Mittelwert des Schwankwegs von 348.22mm (± 195.03 mm) auf 251.03mm (± 112.90 mm) reduzieren.

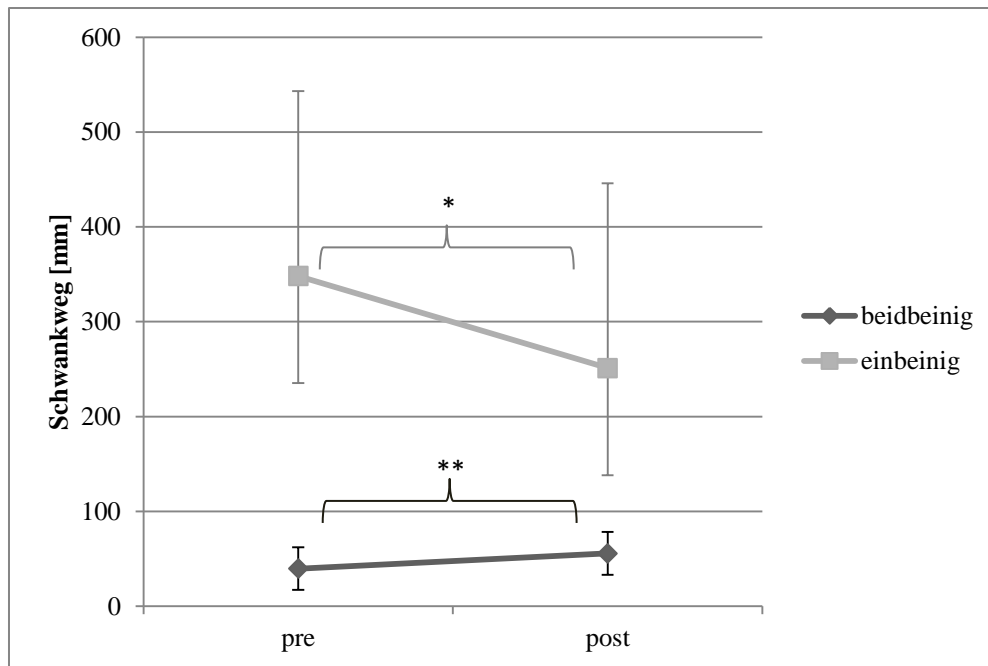


Abb. 8 : Schwankweg des Körperschwerpunktes bei ein- und beidbeinigem Stand während 15s auf einer freischwingenden Plattform (Posturomed). Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit beim einbeinigen Stand. Signifikante Unterschiede bei beiden Bedingungen (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$).

3.2. Gleichgewichtsfähigkeit: Perturbation

Antizipierbare Perturbation

Bei den Gleichgewichtstests auf dem Posturomed mit antizipierbarer Perturbationsrichtung konnte nur eine signifikante Verbesserung festgestellt werden. In der Perturbationsrichtung nach vorne wurde ein p -Wert von 0.008 und eine Reduktion des Schwankwegs um -19.57mm registriert. Eine signifikante Zunahme des Schwankwegs und somit eine Verschlechterung der Testresultate war bei der Perturbationsrichtung nach links zu erkennen. Hier nahm der Weg der Schwankung um 11.16% zu. Bei den Perturbationsrichtungen nach hinten und nach rechts wurden keine signifikanten Veränderungen festgestellt. Der Schwankweg nahm jeweils nicht signifikant zu oder blieb ungefähr gleich gross.

Nicht-antizipierbare Perturbation

Die Resultate der nicht-antizipierbaren Perturbationen zeigten keine signifikanten Werte (alle p -Werte >0.05). Die Mittelwerte der Schwankwege nahmen nicht signifikant zu oder blieben ungefähr gleich gross. Es wurden keine Verbesserungen erzielt.

Tab. 2 : Gleichgewichtstests mit Perturbation auf dem Posturomed. Ausgewertet wurden die 6 Sekunden nach der Störung. Unterschieden in antizipierbarer und nicht-antizipierbarer Perturbationsrichtung. Verbesserte Signifikante Unterschiede bei der antizipierbaren Richtung nach vorne und nach links ($p < 0.05$). Verbesserte Gleichgewichtsleistung bei der antizipierbaren Richtung nach vorne.

Posturomed, 6s	Prätest (n=15)		Posttest(n=15)		
Antizipierbare Richtung	Schwankweg Mittelw. [mm]	Stabw. [mm]	Schwankweg Mittelw. [mm]	Stabw. [mm]	p-Wert
Hinten	208.736	32.749	210.721	34.556	0.769
Vorne	162.633	22.122	143.064	23.103	0.008
Links	223.240	45.355	248.161	46.772	0.007
Rechts	203.877	32.282	223.292	39.178	0.134
Nicht-antizipierbare Richtung	Schwankweg Mittelw. [mm]	Stabw. [mm]	Schwankweg Mittelw. [mm]	Stabw. [mm]	p-Wert
Hinten	196.813	22.774	207.755	33.208	0.090
Vorne	147.742	17.092	155.430	28.934	0.299
Links	228.040	42.074	237.534	49.185	0.455
Rechts	207.469	35.366	219.145	45.115	0.333

Antizipierbare und nicht-antizipierbare Perturbation

Beim Vergleich der Resultate zwischen antizipierbaren und nicht-antizipierbaren Perturbationen konnte einzig bei der Störungsrichtung „nach vorne“ signifikante Unterschiede festgestellt werden. Beim Prätest ergab sich ein p -Wert von 0.012, wobei der Schwankweg bei der nicht-antizipierbaren Störung geringer war. Beim Posttest war es genau umgekehrt. Da wurde ein kleinerer Schwankweg bei der antizipierbaren Störung ermittelt ($p=0.039$).

Weiter konnten keine signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen aus den antizipierbaren und den nicht-antizipierbaren Perturbationsrichtungen beim Prä- und Posttest erkannt werden.

3.3.Zusätzliche Effekte von Gleichgewichtstraining

Sprunghöhe/ Countermovement Jump (CMJ)

Die Untersuchungsgruppe hatte sich signifikant in der Sprunghöhe verbessert ($p=0.028$). Sie konnten die Sprunghöhe beim CMJ im Mittelwert von 21.39cm (± 4.04 cm) um 0.80cm auf 22.20cm (± 4.48 cm) erhöhen.

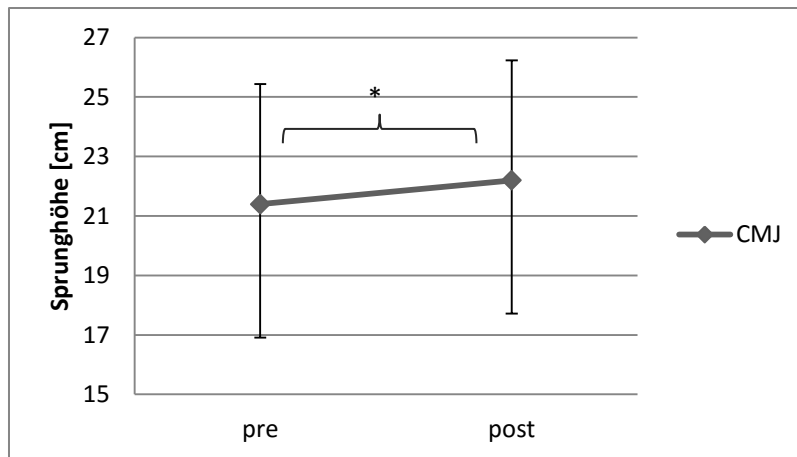


Abb. 9 : Sprunghöhe beim Countermovement Jump auf der Kraftmessplattform. Signifikante Verbesserung der Sprunghöhe (*= $p < 0.05$)

Explosivkraft/ Rate of force development (RFD)

Bei der Explosivkraft konnten nur 12 Daten komplett gewertet werden, deshalb ergab sich bei diesem Test ein $n=12$. Die Probandengruppe steigerte die Explosivkraft bei der isometrischen Plantarflexion nicht signifikant ($p=0.405$) um $+46.31\text{Nm/s}$ von 763.25Nm/s ($\pm 204.98\text{Nm/s}$) auf 809.56Nm/s ($\pm 219.85\text{Nm/s}$).

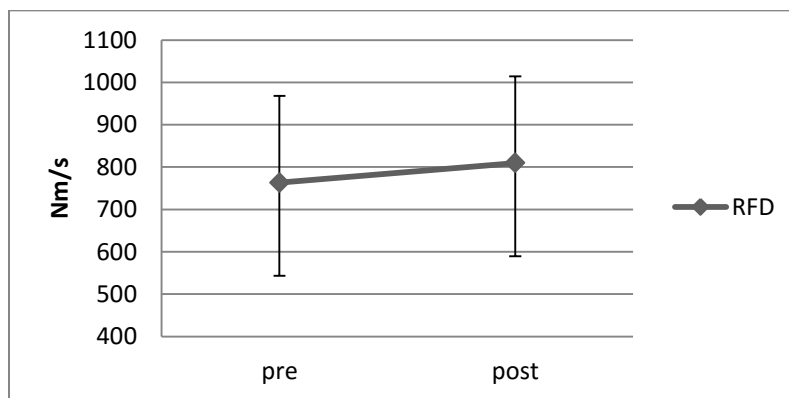


Abb. 10 : Explosivkraft resp. Kraftanstieg bei der isometrischen Plantarflexion (Isokinet). Keine signifikanten Veränderungen ($p < 0.05$).

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

4.1. Diskussion

Gleichgewichtsfähigkeit

Die Resultate aus dieser Studie werden für weiterführende Vergleiche benutzt. Die gleichen Testbedingungen und vergleichbare, altersspezifisch angepasste Trainingsinterventionen werden mit verschiedenen weiteren Gruppen gemacht (6-7 Jahre, 10-11 Jahre). Ebenfalls werden in eigenständigen Studien die Kontrollgruppen in jeder Alterskategorie getestet. So wird es zum ersten Mal möglich sein, die Trainierbarkeit der Gleichgewichtsfähigkeit zwischen verschiedenen Altersgruppen direkt miteinander zu vergleichen. Diese Studie kann Wissen über die Trainierbarkeit der Gleichgewichtsfähigkeit bei Jugendlichen im Alter von 14-15 Jahren generieren.

Nach einer fünf-wöchigen ganzheitlichen Gleichgewichtstrainingsintervention mit zwei Trainings pro Woche (jeweils 45min resp. 75min), konnten teilweise signifikante Steigerungen der Gleichgewichtsleistung ($p < 0.05$) festgestellt werden. Beim einbeinigen Balancieren auf einem Holzkreisel konnten die Probanden den Schwankweg signifikant reduzieren ($p = 0.047$). Ebenso beim einbeinigen Stand auf einer freischwingenden Plattform (Posturomed) konnte eine signifikante Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit festgestellt werden ($p = 0.017$). Bei dieser Testbedingung konnten sich 84.62% der Probanden verbessern. Nur bei zwei Personen war ein leichter Rückschritt oder eine gleichbleibende Gleichgewichtsleistung zu erkennen. Weiter ergaben die Tests auf der freischwingenden Plattform mit antizipierbarer Perturbation eine signifikante Verbesserung bei der Störungsrichtung nach vorne ($p = 0.008$). Auf der Kraftmessplatte beim statischen Romberg Test mit geschlossenen Augen wurde eine signifikante Verbesserung nur ganz knapp verpasst ($p = 0.051$). Es blieben jedoch auch viele weitere Gleichgewichtstests (statisch und dynamisch) ohne signifikantes Resultat oder es wurde sogar eine Verschlechterung der Gleichgewichtsleistung erkannt (beidbeiniger Stand auf einer freischwingenden Plattform; Perturbation antizipierbar „links“). Es konnten keine einheitlichen signifikanten Leistungsunterschiede zwischen den antizipierbaren und den nicht-antizipierbaren Störungen festgestellt werden. Was könnte die Ergebnisse beeinflusst haben und wie können diese Resultate allenfalls erklärt werden?

Alter und neuronale Reifung

Die Erkenntnis der Leistungssteigerung in Gleichgewichtsaufgaben passt auch zu anderen Studienergebnissen (Donath et al., 2013; Keller et al., 2014; Muehlbauer et al., 2013). Es scheint relevant zu sein, in welchem Alter sich die Probanden befinden. Die Jugendlichen aus der Trainingsgruppe dieser Studie waren zwischen 14-15 Jahre alt. Somit stellten sie im Vergleich zu den anderen dargestellten Gleichgewichtsstudien mit Kindern und Jugendlichen die älteste Gruppe dar. Es kann davon ausgegangen werden, dass die neuronale Entwicklung im Vergleich zu den anderen Probandengruppen am weitesten fortgeschritten war. Dadurch sollten die neuronalen Grundlagen für positive Effekte von Gleichgewichtstraining vorhanden gewesen sein. Als Vergleichswert dient die Studie von Keller et al. (2014) in welcher die Probandengruppe 13.1 (± 0.4) Jahre alt waren. Auch in der Studie konnten positive Gleichgewichtsergebnisse festgestellt werden. Sogar bei Muehlbauer et al. (2013) mit 11-12 Jahre alten Kindern oder bei Donath et al. (2013) mit 10.1 (± 0.4) Jahre alten Kindern konnte eine Leistungssteigerung in Gleichgewichtsaufgaben nachgewiesen werden. Einzig bei der Studie von Granacher et al. (2011b) mit 6-7 Jahre alten Kindern konnte keine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit erkannt werden. Granacher et al. (2011b) vermuteten einen wesentlichen Grund für das Ausbleiben von Fortschritten bei der neuronalen Unreife und dem Entwicklungsstand von posturalen Strategien (Riach & Hayes, 1987). Neben der unvollständigen Reifung der posturalen Kontrollstrategien wurden ebenfalls die noch nicht vollständig entwickelten visuellen und vestibulären afferenten Systeme erwähnt (Steindl et al., 2006). Die Studie von Granacher et al. (2011b) kann aufgrund des unterschiedlichen Alters der Probanden nicht direkt mit der vorliegenden Arbeit verglichen werden. Somit gliedern sich die erzielten Resultate aus der hier vorliegenden Arbeit gut in die Literatur ein. Auch wenn die Jugendlichen aus der hier vorliegenden Studie in der neuronalen Entwicklung noch nicht vollständig ausgereift waren, konnten positive Effekte durch Gleichgewichtstraining erzielt werden.

Trainingsintervention

Für die vorliegende Studie wurde eine fünf-wöchige ganzheitliche Gleichgewichtstrainingsphase auf instabilen Unterlagen und mit verschiedenen Gleichgewichts- und Kampfspielen gewählt. Durch das abwechslungsreiche und altersspezifische Programm wurde versucht die Motivation der Probanden während den Trainings hoch zu halten. Zusätzlich versuchte der Trainingsleiter bei Bedarf die Aufgaben niveaugerecht anzupassen. Bei der Studie von Granacher et al. (2011b) trainierten die

6-7 Jahre alten Kinder ebenfalls auf verschiedenen instabilen Unterlagen. Trotz ähnlichen Trainingsmaterialien konnte keine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit erkannt werden. Die Trainingsorganisation wurde jedoch so gewählt, dass die Probandengruppe in Postenform verschiedene Gleichgewichtsaufgaben auf instabilen Unterlagen absolvieren mussten. Vermutlich fehlte den Kindern die altersspezifische Herausforderung und Motivation, um die Gleichgewichtsposten mit hoher Konzentration auszuführen. Die Autoren diskutierten auch, dass die Kinder nur dann die Aufgaben mit hoher Aufmerksamkeit ausführten, wenn der Trainingsleiter direkt bei ihnen stand. Aus den Erfahrungen der Studie von Granacher et al. (2011b) lässt sich schliessen, dass die Gleichgewichtstrainings für die Probanden dem Alter und Niveau entsprechend durchgeführt werden sollten. Dies konnte durch die Vorstudie von Bislin et al. (2015), in welcher die Gleichgewichtslektionen für die vorliegende Untersuchung entworfen wurden, gewährleistet werden. Trotzdem kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass gewisse Probanden bei den Gleichgewichtslektionen teilweise über- oder unterfordert wurden. Weiter könnte aufgrund der signifikanten Verbesserungen der einbeinigen Gleichgewichtsaufgaben die Annahme entstehen, dass bei den Trainings hauptsächlich einbeinige Aufgaben gewählt wurden. Dieses Argument kann jedoch mit dem Verweis auf die Dokumentationen der Unterrichtslektionen im Anhang widerlegt werden. Die Gleichgewichtsaufgaben wurden ganzheitlich gewählt und es wurde gleichermassen ein- wie auch beidbeinige Aufgaben berücksichtigt. Bei den Studien von Muehlbauer et al. (2013) und von Keller et al. (2014) wurde sogar aufgezeigt, dass bei Kindern respektive Jugendlichen auch eine verbesserte Gleichgewichtsfähigkeit in einer nicht trainierten Aufgabe festgestellt werden konnte. In beiden Studien wurden alternative Gleichgewichtsformen (Inlineskating respektive Eislaufen) gewählt und trotzdem konnte eine Verbesserung in den Testaufgaben registriert werden. Dies zeigt auf, dass Trainingsadaptionen im Bereich von gleiten und rollen auch auf andere Gleichgewichtsaufgaben transferiert werden können. Diese Formen scheinen für den Sportunterricht attraktiv zu sein und eine interessante Alternative oder Ergänzung zu klassischem Gleichgewichtstraining auf instabilen Unterlagen zu bieten.

Obwohl in der vorliegenden Arbeit vielseitiges und ganzheitliches Training durchgeführt wurde, blieb bei vielen Aufgaben eine verbesserte Gleichgewichtsleistung aus. Die Interventionsdauer von fünf Wochen ist relativ kurz. Es ist möglich, dass die Trainingszeitdauer zu kurz war, um mehr signifikante Verbesserungen bei den Gleichgewichtsaufgaben nachweisen zu können. Aufgrund des Schulkalenders und der verfügbaren Zeit war jedoch keine längere Trainingsphase möglich. Trotzdem konnten bereits

aus Studien mit gleicher oder kürzerer Trainingsphase signifikante Verbesserungen der Gleichgewichtsfähigkeit festgestellt werden (Keller et al., 2014; Muehlbauer et al., 2013). Zudem sollte die Trainingsphase auch nicht zu lange sein, damit bei allfälligen Fortschritten die Beeinflussung durch Muskelwachstum ausgeschlossen werden kann (Gruber & Gollhofer, 2004). Bei der vorliegenden Studie sollte aufgrund der Interventionsdauer von fünf Wochen ein Muskelwachstum ausgeschlossen werden können.

Es kann jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass der Trainingsinhalt zu wenig leistungsfördernd war. Vermutlich waren aber auch andere Gründe für das Ausbleiben von weiteren Fortschritten der Gleichgewichtsfähigkeit (mit)verantwortlich. Diese möglichen Gründe werden in den nachfolgenden Abschnitten diskutiert.

Statisches und dynamisches Gleichgewicht

In der vorliegenden Studie wurde im Training mit statischen und dynamischen Aufgaben inklusive Gleichgewichtsstörungen (zum Beispiel durch Kampf- und Gleichgewichtsspiele) gearbeitet. Diese Gleichgewichtsarten wurden auch alle getestet. Es konnten signifikante Verbesserungen in zwei dynamischen Gleichgewichtsaufgaben (Einbeinstand auf Kreisel und freischwingender Plattform) nachgewiesen werden. Bei den statischen Gleichgewichtsaufgaben (Romberg, Tandemstand) ergaben sich keine signifikanten Veränderungen und bei den dynamischen Gleichgewichtsaufgaben mit Perturbationen ergaben sich widersprüchliche Resultate. Die Frage bleibt offen, wie diese Resultate genau zu erklären sind. Drowatzky und Zuccato (1967) zeigten auf, dass es nur eine kleine Korrelation ($r_s = .03-.26$) zwischen statischen und dynamischen Messung der Gleichgewichtsfähigkeit bei Kindern im Alter zwischen 12-14 Jahren gibt. Es ist möglich, dass statische und dynamische Gleichgewichtsfähigkeiten durch verschiedene neuromuskuläre Mechanismen reguliert werden und somit Trainingsanpassungen in einem Bereich keine Einflüsse auf den anderen Bereich haben könnten (Muehlbauer et al., 2013). Es besteht die Möglichkeit, dass sich ganzheitliches Gleichgewichtstraining eher bei dynamischen Tests auswirkt. Trotzdem konnte beim Rombergstand mit geschlossenen Augen eine Tendenz zur Leistungssteigerung erkannt werden. Denn das Signifikanzniveau von $p < 0.05$ wurde nur ganz knapp verfehlt ($p = 0.051$). Es könnte jedoch auch sein, dass die verschiedenen Testschwierigkeitsgrade einen Einfluss auf die Resultate hatten. Diese Annahme wird in einem nachfolgenden Punkt nochmals aufgegriffen und diskutiert.

Testmethoden

Die gewählten Testmethoden sollten mit der Trainingsintervention abgeglichen sein, damit auch allfällige Trainingsadaptionen sicht- und nachweisbar sind. Dies bestätigen auch bisherige Studien (Drowatzky & Zuccato, 1967; Muehlbauer et al, 2013). In der hier vorliegenden Studie wurden verschiedene Testmethoden gewählt. In nachfolgenden Studien werden die gleichen Tests mit anderen Altersgruppen durchgeführt. Das Ziel dabei ist, die verschiedenen Altersgruppen miteinander zu vergleichen. Deshalb schien es wichtig, dass viele verschiedene Testbedingungen gewählt wurden. So können mehr Daten miteinander verglichen werden und allfällige unterschiedliche Auswirkungen zwischen den Altersgruppen besser nachvollzogen werden. Wenn man die bisherigen Gleichgewichtsstudien mit Kindern und Jugendlichen zum Vergleich herbei zieht, merkt man, dass viele Unterschiedliche Methoden gewählt wurden. Ein Vergleich ist sehr schwierig und muss mit Vorsicht betrachtet werden. Trotzdem kann an dieser Stelle eine Verbindung zu zwei Studien respektive Testmethoden gemacht werden.

Keller et al. (2014) arbeiteten ebenfalls mit dem Posturomed. Sie prüften das Gleichgewicht der Probanden auf einem Bein ohne Perturbation und mit Perturbation. Die Testbedingung vom Einbeinstand ohne Störung kann mit dem entsprechenden Test aus der vorliegenden Arbeit verglichen werden. Bei beiden Studien konnte eine Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit festgestellt werden. Bei Keller et al. (2014) war sogar eine hoch signifikante Verbesserung zu erkennen. Die gewählte Testbedingung scheint also bei Jugendlichen gut einsetzbar zu sein, um die Trainingsadaptionen auf einem Bein aufzuzeigen. Der posturale Schwankweg wurde nicht nur in dieser Studie bei Kindern/ Jugendlichen getestet. Auch Granacher et al. (2011b) wählten diese Methode. Dabei wählten die Autoren eine Gleichgewichtsplattform, welche in medio-laterale und antero-posteriore Richtungen frei bewegbar war. Die Kinder aus der Studie mussten sich beidbeinig darauf stellen und versuchen, möglichst ruhig zu stehen. Aus bereits diskutierten Gründen konnten Granacher et al. (2011b) keine Verbesserungen der Gleichgewichtsfähigkeit feststellen. Der posturale Schwankweg in der hier vorliegenden Studie wurde einerseits auf einer Kraftmessplatte mit statischen und dynamischen Gleichgewichtstests gemessen. Andererseits mussten die Probanden auf dem Posturomed ohne Perturbation möglichst ruhig stehen (jeweils beid- und einbeinig). Einzig bei den Aufgaben auf einem Bein konnte ein Fortschritt nachgewiesen werden.

Weiter wurde die Gleichgewichtsfähigkeit von Jugendlichen mit antizipierbaren und nicht-antizipierbaren Störungen getestet. Dabei standen die Probanden mit beiden Beinen auf der Plattform. Die Störung wurde durch einen Motor ausgelöst. Diese Methode unterscheidet sich zu der Anwendungsform in der Studie von Keller et al. (2014). Sie wählten in ihrer Studie den Einbeinstand und die Plattform wurde durch Magnete bewegt. Aus diesen Gründen können die Resultate aus den beiden Testbedingungen nicht miteinander verglichen werden. Bei der hier vorliegenden Studie resultierten widersprüchliche Ergebnisse. Es konnte kein Unterschied zwischen antizipierbaren und nicht-antizipierbaren Störungen festgestellt werden. Es stellt sich die Frage, wie die Resultate erklärt werden können. Das Ausbleiben von positiven Effekten in vielen Tests kann nur mit Vermutungen erklärt werden. Während den Posttests entstand die Annahme, dass die Dauer der Tests für die Probanden etwas lange war. Deshalb könnte teilweise die Konzentration und die Motivation der Probanden während dem Testablauf abgenommen haben. Weiter könnte es auch sein, dass in den Trainings zu wenige Lerneffekte für Perturbationen des Gleichgewichts möglich waren. Ein anderer möglicher Erklärungsgrund ist, dass der Schwierigkeitsgrad der Testbedingungen einen Einfluss auf die Resultate haben könnte. Es scheint, dass nur bei den schwierigsten beiden Tests ein Fortschritt in der Gleichgewichtsleistung auftrat. Diese Vermutung wird im folgenden Abschnitt nochmals aufgegriffen und diskutiert.

Schwierigkeitsgrad der Testbedingungen und Trainingsanpassungen

Taube et al. (2010) wiesen bei ihrer Studie mit Inlineskating-Training bei Senioren nach, dass sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmass der Trainingsanpassung und dem Schwierigkeitsgrad des Tests ergab. Die Probanden konnten sich bei den Gleichgewichtstests mit den anspruchsvollsten Bedingungen am meisten steigern („Verbesserung in Relation zum Schwierigkeitsgrad des Tests“). Die Autoren vermuten, dass die einfachen Testbedingungen nicht dafür geeignet waren, um funktionell relevante Gleichgewichtsdefizite aufzudecken. Diese Vermutungen wurden durch die Ergebnisse von Smithson et al. (1998) unterstützt. Sie konnten mit einfachen statischen Gleichgewichtstests bei Parkinson-Patienten keine Beeinträchtigungen aufdecken. Jedoch wurden bei den anspruchsvolleren Testbedingungen wie bei Standperturbationen oder beim Einbeinstand klare Unterschiede gegenüber gesunden Personen entdeckt. Probanden mit der Parkinson-Krankheit konnten im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen bei statischen Gleichgewichtstests sogar teils bessere Resultate erzielen. Aber sobald bei den Tests Störreize hinzugefügt wurden, zeigten die Parkinson-Patienten unkoordinierte

Kompensationsreaktionen. Es wurde festgehalten, dass erst ab einem gewissen Anforderungsgrad funktionell relevante Gleichgewichtsdifferenzen erfasst werden (Schieppati et al., 1994). Brehm und Self (1989) nannten die Theorie, dass ein adäquater Schwierigkeitsgrad mit einer steigenden Motivation einhergeht. Diese Punkte könnten auch bei den Probanden aus der vorliegenden Studie eine Rolle gespielt haben. Es entstand der Eindruck, dass der Schwierigkeitsgrad einen Einfluss auf die Leistung der Probanden gehabt hat. Denn gerade bei den beiden Tests mit den grössten Schwankwegen konnten signifikante Verbesserungen festgestellt werden. Es wird vermutet, dass bei den einfacheren Tests die Konzentration und nicht das Können ausschlaggebend und limitierend war. Das Ergebnis beim Rombergstand mit geschlossenen Augen scheint hier nicht zu diesen Vermutungen zu passen. Denn der Schwankweg war kleiner als bei anderen Testbedingungen (Tandemstand, Kreisel beidbeinig). Trotzdem konnte beinahe eine signifikante Verbesserung erkannt werden ($p=0.051$). Vielleicht spielte es eine Rolle, dass die Bedingung blind war und sich deshalb von allen anderen Testbedingungen unterschied. Wenn das visuelle System ausgeschaltet wird, müssen andere Systeme eine grössere Rolle übernehmen (Granacher et al., 2011a). Vermutlich verlagerte sich die Organisation der posturalen Kontrolle von hauptsächlich visuell-vestibulär zu hauptsächlich somatosensorisch-vestibulär (Granacher et al., 2011a). Vielleicht reagierten die Probanden auf die blinden Trainingsreize etwas sensibler, weil sie sich diese Bedingung weniger gewohnt sein könnten.

Es scheint überraschend, dass bei den Aufgaben mit Perturbation kaum Verbesserungen und bei anderen Aufgaben trotzdem ein Fortschritt der Gleichgewichtsleistung zu sehen ist. Wie könnte bei der vorliegenden Studie erklärt werden, dass bei den Perturbationen auf dem Posturomed widersprüchliche Resultate zustande kamen (Verbesserung bei der Störung nach „vorne“ und Verschlechterung bei der Störung nach „links“)? Dies könnte dadurch begründet werden, dass vermutlich die Störungsintensität für die Probandengruppe zu wenig herausfordernd war. Eine Möglichkeit wäre gewesen, dass die Probanden nur auf einem Bein auf der Plattform stehen, so wie dies die Probanden aus der Studie von Keller et al. (2014) gemacht hatten. Die Perturbationsintensität und die Testbedingungen konnten jedoch nicht geändert werden. Die Testbedingungen wären so für andere Altersgruppen, mit welchen die Probandengruppe aus dieser Studie verglichen wird, zu schwierig geworden. Bugnariu & Sveistrup (2005) haben festgestellt, dass Senioren bei den selbst ausgelösten Perturbationen im Vergleich zu fremd ausgelösten Perturbationen signifikant kleinere Schwankwege des Körperschwerpunktes aufwiesen. Deshalb wurde für die vorliegende Studie auch die

Hypothese aufgestellt, dass bei den antizipierbaren Störungen eine signifikant bessere Gleichgewichtsleistung erkennbar sein wird als bei nicht-antizipierbaren Störungen. Die Hypothese musste verworfen werden ohne jedoch eine schlussfolgernde Aussage machen zu können. Es kann lediglich die Annahme über die zu geringe Aufgabenschwierigkeit getroffen werden. Es besteht die Annahme, dass mehr die Konzentration respektive der Leistungsehrgeiz und weniger die Gleichgewichtsfähigkeit für die Resultate bei den Perturbationsaufgaben ausschlaggebend waren.

Zusätzliche Effekte von Gleichgewichtstraining

Durch die Trainingsintervention kam ein positiver Zusatzeffekt bei der Sprungleistung im CMJ zustande ($p=0.028$). Jedoch konnte bei der Explosivkraft kein Fortschritt aufgezeigt werden. In vielen Studien wurde diskutiert, welche Faktoren die zusätzlichen Effekte beeinflussen können. Es scheint eine wichtige Rolle zu spielen, in welchem Alter sich die Probanden befinden. Im Kindesalter vor der Adoleszenz könnten die neuronale Ausreifung und die posturalen Kontrollstrategien noch zu wenig entwickelt sein, damit zusätzliche Effekte von Gleichgewichtsaufgaben zustande kommen können. Weiter scheint es ausschlaggebend zu sein, dass das Gleichgewichtstraining im passenden Kontext (Alter, Niveau, statisches/ dynamisches Gleichgewicht, beanspruchte Muskulatur, Zeitdauer) stattfindet.

Sprunghöhe

Die erhaltenen Resultate der erhöhten Sprungkraft passen zu bisherigen Erkenntnissen. Mehrere Studien belegten gleiche Ergebnisse nach Gleichgewichtstrainings (Granacher et al., 2010a; Muehlbauer et al., 2013; Taube et al., 2007). Somit kann davon ausgegangen werden, dass durch Gleichgewichtstraining die Sprungkraft erhöht werden kann. Gemäss den erwähnten Studien scheinen die Resultate durch eine verbesserte Koordination der Muskeln zustande zu kommen. Man geht davon aus, dass durch Gleichgewichtstraining die neuronale Ansteuerung der Muskeln verbessert wird und dies zu höheren Sprungleistungen führt (Granacher et al., 2010a; Muehlbauer et al., 2013; Taube et al., 2007). Ein wichtiges Argument für diese Aussage ist, dass die Trainingsphasen in den erwähnten Studien zu kurz für ein Muskelwachstum waren. So konnte die erhöhte Sprungleistung nicht durch eine grössere Muskeldichte erreicht werden. Diese Bedingung wurde auch bei der vorliegenden Studie erfüllt.

Es gibt aber auch Studien mit gegensätzlichen Resultaten zur Sprunghöhe (Donath et al., 2013; Granacher et al., 2010b; 2011). Bei Donath et al. (2013) könnte Slackline eine zu spezifische Gleichgewichtsaufgabe für den Zusatzeffekt der Sprungkraft gewesen sein. Einen weiteren Einfluss auf die Ergebnisse von Donath et al. (2013) hatte vermutlich das Alter der Probanden (10.1 ± 0.4 Jahre). Diese Annahme kam auch durch die Studie von Granacher et al. (2011b) zustande. Auch diese Autoren sahen die Ursache des Ausbleibens des Zusatzeffektes im Alter der Probanden respektive in der unvollständigen Ausreifung der neuronalen Systeme. Diese Argumente treffen bei der vorliegenden Studie nicht zu, da die Probandengruppe klar älter war und die Gleichgewichtsaufgaben ganzheitlich gewählt wurden.

Explosivkraft

Die Explosivkraft der Trainingsgruppe aus dieser Studie hatte sich im Mittelwert nicht signifikant gesteigert. In der Literatur sind unterschiedliche Resultate zur Explosivkraft aufzufinden. Mehrere Studien wiesen eine positive Explosivkraftentwicklung nach Gleichgewichtstraining nach (Granacher et al., 2010b; Gruber & Gollhofer, 2004; Gruber et al., 2007a). Bei anderen Studien konnte wiederum keine Steigerung erkannt werden (Donath et al., 2013; Granacher et al., 2011b; Taube et al., 2007b). Ein wiederkehrender Punkt in den Diskussionen war die Abhängigkeit von Trainingsbeanspruchung und Testmethode. Welche Trainingsadaptionen können in welchen Testmethoden umgesetzt werden? So stellt sich die Frage, ob Adaptionen durch Training mit frei beweglichen Fussgelenken in isolierten Bewegungen erkennbar sind (Gruber et al., 2007; Taube et al., 2007b).

Wieso in der vorliegenden Studie keine Verbesserung der Explosivkraft erzielt wurde, ist unklar. Zwar ist eine leicht positive Tendenz vom Prä- zum Posttest ersichtlich, aber der p -Wert verfehlt mit 0.405 das Signifikanzniveau ($p < 0.05$) klar. Aufgrund der Diskussion von Taube et al. (2007b) scheint es möglich, dass die Testbedingung der isolierten isometrischen Plantarflexionbewegung die Trainingsadaptionen zu wenig wiedergeben konnte. Trotzdem konnten Gruber et al. (2007) nach Training mit frei beweglichen Fussgelenken eine gesteigerte Explosivkraft mit einer isolierten Plantarflexionbewegung nachweisen. Weiter könnte es auch sein, dass ganzheitliches Training sich nicht optimal für die Entwicklung der Explosivkraft in einem isolierten Körperteil auswirkt. Die Probandengruppe sollte mit 14-15 Jahren genug alt für neuronale Adaptionen gewesen sein. Schliesslich konnte eine Steigerung der Sprungkraft erkannt werden, welche vermutlich auf neuronale Anpassungen

zurück zu führen ist. Vielleicht war die Trainingsphase von fünf Wochen und zwei Trainings pro Woche zu kurz für eine Steigerung der Explosivkraft. Die genauen neuronalen Veränderungen durch die Trainingsphase konnten nicht untersucht werden. Daher kann nur spekuliert werden, weshalb zwar eine Verbesserung der Sprungkraft, aber keine Steigerung der Explosivkraft nachgewiesen werden konnte.

Grenzen der Studie

Die verfügbare Zeit für die Trainingsintervention war mit fünf Wochen und zwei Trainings pro Woche kurz. Die Trainings fanden im Sportunterricht statt. Dieser ist unterteilt in eine Einzellektion und eine Doppellektion. In der Einzellektion ergibt sich nur eine effektive Unterrichtszeit von 30 Minuten. Dies ist sehr kurz und die vorbereiteten Lektionen mussten teils etwas angepasst werden. Alle Anpassungen respektive alle durchgeführten Lektionen sind dem Anhang zu entnehmen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Interventionsdauer zu kurz oder zu wenig häufig gewählt wurde.

Eine grosse Grenze scheint der Schwierigkeitsgrad der Tests zu sein. Da in weiteren Studien mehrere Altersgruppen miteinander verglichen werden sollen, mussten für alle die gleichen Testbedingungen und möglichst ähnliche Trainingsbedingungen geschaffen und gewählt werden. Die Folge daraus ist, dass vermutlich einige Testformen für die Probandengruppe aus dieser Studie zu wenig herausfordernd waren. Es könnte sein, dass die einfacheren Testbedingungen die funktionell relevanten Gleichgewichtsdefizite zu wenig aufdecken konnten. Aus Sicherheitsgründen und mit Rücksichtnahme auf jüngere Altersgruppen konnten keine anspruchsvolleren Tests ausgewählt werden. Einen weiteren Einfluss hatte vermutlich die Motivation der Studienteilnehmer während den Testaufgaben. Die Tests dauerten total meistens etwas über 90 Minuten und es schien für die Probanden schwierig, sich bei jedem Test voll zu konzentrieren und sich bei jedem Versuch möglichst still zu halten. Dazu kam, dass beim Posttest die Bedingungen (Tests, Infrastruktur, Zeit) bereits bekannt waren und vermutlich dadurch die Anspannung, aber auch die Anstrengung bei den zu wenig herausfordernden Tests sank. Somit ist es gut möglich, dass bei einigen Tests die Konzentrationsfähigkeit und nicht das Gleichgewicht limitierend, respektive ausschlaggebend war. Hier könnte es bei folgenden Testreihen eine Möglichkeit sein, um mit „augmented Feedback“ zu arbeiten und so die Motivation der Probanden zu erhöhen (Lauber & Keller, 2012). Aufgrund des Alters der Probanden konnten die zugrunde liegenden neuronalen Trainingsanpassungen nicht überprüft werden. Hier wären entsprechende Untersuchungen nötig, um die neuronalen Veränderungen genauer darlegen zu können.

4.2. Schlussfolgerungen

14-15 jährige Jugendliche konnten nach fünf Wochen ganzheitlichem Gleichgewichtstraining ihre Gleichgewichtsfähigkeit steigern. Dies zeigte sich beim einbeinigen Balancieren auf einem Holzkreisel und ebenso beim einbeinigen Stand auf einer freischwingenden Plattform (Posturomed). Es kann somit angenommen werden, dass ein ganzheitliches Gleichgewichtstraining bei Jugendlichen zu einer Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit führt. Bei anderen, weniger anspruchsvollen Gleichgewichtstests konnte keine Leistungssteigerung nachgewiesen werden (statische und beidbeinige dynamische Tests). Ebenso konnten keine signifikanten Leistungsunterschiede zwischen den antizipierbaren und den nicht-antizipierbaren Perturbationen festgestellt werden. Es wird vermutet, dass der Schwierigkeitsgrad bei einigen Testbedingungen zu wenig herausfordernd war. Es wird angenommen, dass zu einfache Testbedingungen die funktionell relevanten Gleichgewichtsdefizite zu wenig aufdecken können (Taubke et al., 2010). Somit war bei gewissen Tests vermutlich mehr die Konzentration und nicht die Gleichgewichtsfähigkeit der limitierende Faktor. Denn gerade bei den beiden Aufgaben mit den grössten Schwankwegen konnten signifikante Verbesserungen gefunden werden. Die Testbedingungen in der vorliegenden Studie konnten nicht verändert werden, weil in weiterführenden Studien die Resultate vergleichbar bleiben müssen.

Die Trainingsgruppe konnte durch das Gleichgewichtstraining die Sprunghöhe im CMJ vom Prä- zum Posttest signifikant erhöhen. Diese Leistungssteigerung scheint durch neuronale Adaptionen zustande gekommen zu sein, da die Trainingsphase zu kurz für eine Zunahme der Muskelmasse gewesen wäre. Bei den Messungen der Explosivkraft konnten keine signifikanten Veränderungen erkannt werden. Welche Einflüsse genau für das Ausbleiben der Explosivkraftsteigerung verantwortlich waren, ist nicht klar.

Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse kann davon ausgegangen werden, dass viele Faktoren einen Einfluss auf die Entwicklung der Gleichgewichtsfähigkeit und auf das Zustandekommen von Transfer- und Zusatzeffekten nach einem Gleichgewichtstraining haben. Die Anpassungen nach Gleichgewichtstraining hängen stark vom Kontext ab. Alter, Gleichgewichtsart (statisch, dynamisch), Trainingsform, Testmethoden, körperliche Beanspruchung und der Aufgabenschwierigkeitsgrad scheinen die Resultate stark zu beeinflussen.

Die Resultate aus dieser Studie werden für weiterführende Vergleiche benutzt. Die gleichen Testbedingungen und vergleichbare Trainingsinterventionen werden mit verschiedenen weiteren Altersgruppen durchgeführt (6-7 Jahre, 10-11 Jahre, 20-35 Jahre und 65-80 Jahre). So wird es vermutlich zum ersten Mal möglich sein, die Gleichgewichtsfähigkeit, die Transfer- und Zusatzeffekte von Gleichgewichtstrainings zwischen verschiedenen Altersgruppen direkt miteinander zu vergleichen.

Literaturverzeichnis

- Abendroth, K. (2004). Sensomotorische Regulation der Knochenfunktion. *Akt Rheumatologie*, 29 (4), 178-181.
- Ahnert, J., Schneider, W. (2007) Entwicklung und Stabilität motorischer Fähigkeiten vom Vorschul- bis ins frühe Erwachsenenalter. Befunde der Münchner Längsschnittstudie LOGIK. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 39 (1), 12-24.
- Baur, J., Bös, K., Conzelmann, A., & Singer, R. (2009). *Handbuch Motorische Entwicklung*, 2., komplett überarbeitete Auflage. (J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann, & R. Singer, Hrsg.) Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Baudry, S., Duchateau, J. (2012) Age-related influence of vision and proprioception on Ia presynaptic inhibition in soleus muscle during upright stance. *J Physiol*, 590:5541-5554.
- Beck, S., Taube, W., Gruber, M., Amtage, F., Gollhofer, A., Schubert, M. (2007). Task-specific changes in motor evoked potentials of lower limb muscles after different training interventions. *Brain Res*, 1179: 51-60.
- bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung. STATUS 2014: Statistik der Nichtberufsunfälle und des Sicherheitsniveaus in der Schweiz, Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit. Bern: bfu; 2014.
- Bislin, S., Waelchli, M., Taube, W. (2015). *Kinderspezifisches Gleichgewichtstraining*. Unveröff. Dipl. Arbeit, Universität Freiburg/Fribourg.
- Black, F.O., Wall, C., Rockette, H.E., Kitch, R. (1982). Normal subject postural sway during the Romberg test. *American journal of Otolaryngology*, 3.5: 309-318.
- Blanchet, M., Marchand, D., Cadoret, G. (2012). Postural control adjustments during progressive inclination of the support surface in children. *Med Eng Phys*, 34: 1019-1023.
- Booer, J., Mueller, O., Krauss, I., Haupt, G., Horstmann, T. (2010). Reliability of a measurement technique to characterise standing properties and to quantify balance capabilities of healthy subjects on an unstable oscillatory platform (Posturomed). *Sportverletz Sportschaden*, 24: 40-45.
- Bös, K., Oberger, J., Lämmle, L., Opper, E., Romahn, N., Tittlbach, S., Wagner, M., Woll, A., Worth, A. (2008) Motorische Leistungsfähigkeit von Kindern. In: Zweiter Deutscher

- Kinder- und Jugendsportbericht Schwerpunkt: Kindheit (Schmidt, W., ed), (S. 136-157). Schorndorf: Hofmann.
- Brehm, J.W. & Self, E.A. (1989). The intensity of motivation. *Annu Rev Psychol*, 40: 109-131.
- Bruhn, S., Kullmann, N., Gollhofer, A. (2004). The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilisation, maximum isometric contraction and jump performance. *Int J Sports Med*, 25: 56-60.
- Buchanan, J.J. & Horak, F.B. (1999). Emergence of postural patterns as a function of vision and translation frequency. *J Neurophysiol*, 81: 2325-39.
- Bugnariu, N. & Sveistrup, H. (2005). Age-related changes in postural responses to externally- and self-triggered continuous perturbations. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 42: 73-89.
- Colley, R.C., Garriguet D., Janssen, I., Craig, C.L., Clarke, J., Tremblay, M.S. (2011) Physical activity of Canadian children and youth: accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep*, 22: 15-23.
- Dietz, V., Horstmann, G., Berger, W. (1988). Involvement of different receptors in the regulation of human posture. *Neurosci Lett*, 94: 82-7.
- Donath, L., Roth, R., Ruegge, A., Groppa, M., Zahner, L., Faude, O. (2013) Effects of Slackline Training on Balance, Jump Performance & Muscle Activity in Young Children. *Int J Sports Med*, 34: 1093-1098.
- Dorfman, L.J. & Bosley, T.M. (1979). Age related changes in peripheral and central nerve conduction in man. *Neurology*, 29: 38-44.
- Drowatzky, J.N. & Zuccato, F.C. (1967). Interrelationships between selected measures of static and dynamic balance. *Research Quarterly*, 38: 509-510.
- Duncan, P.W., Weiner, D.K., Chandler, J., Studenski, S. (1990). Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol*, 45: M192-M197.
- Emery, C.A. (2005). Injury prevention and future research. *Medicine Science in Sports Exercise*, 49: 170-191.
- Fitzpatrick, R. & McCloskey, D.I. (1994). Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during standing in humans. *J Physiol*, 478: 173-86
- Freeman, M.A., Dean, M.R., Hanham, I.W. (1965). The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surg Br*, 47: 678-85.

- Gouleme, N., Ezane, M.D., Wiener-Vacher, S., Bucci, M.P. (2014). Spatial and temporal postural analysis: a developmental study in healthy children. *Int J Devl Neuroscience* 38: 169-177
- Granacher, U., Gollhofer, A., Kriemler, S. (2010a) Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. *Res Q Exerc Sport*, 81: 245-251.
- Granacher, U., Gollhofer, A., Strass, D. (2006). Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men. *Gait and Posture*, 24(4), 459-466.
- Granacher, U., Iten, N., Roth, R., Gollhofer, A. (2010b) Slackline training for balance and strength promotion. *Int J Sports Med*, 31: 717-723.
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., Kressig, R.W., Zahner, L. (2011a) An intergenerational approach in the promotion of balance and strength for fall prevention - a mini-review. *Gerontology*, 57: 304-315.
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Gruber, M. (2012) A qualitative review of balance and strength performance in healthy older adults: impact for testing and training. *J Aging Res*, 708905.
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Maestrini, L., Zahner, L., Gollhofer, A. (2011b) Can balance training promote balance and strength in prepubertal children? *J Strength Cond Res*, 25: 1759-1766.
- Gruber, M., Bruhn, S., Gollhofer, A. (2006). A specific adaptations of neuromuscular control and knee joint stiffness following sensorimotor training. *J Sports Med*, 27: 636-41
- Gruber, M., Gollhofer, A. (2004) Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol*, 92: 98-105.
- Gruber, M., Gruber, S.B., Taube, W., Schubert, M., Beck, S.C. & Gollhofer, A. (2007a). Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development and neural activation in humans. *J Strength Cond Res*, 21: 274-282.
- Gruber, M., Taube, W., Gollhofer, A., Beck, S., Amtage, F., Schubert, M. (2007). Training-specific adaptations of H- and stretch reflexes in human soleus muscle. *J Mot Behav*, 39: 68-78.
- Henriksson, M., Ledin, T., Good, L. (2001). Postural control after anterior cruciate ligament reconstruction and functional rehabilitation. *Am J Sports Med*, 29: 359-66
- Hirtz, P. (2007). Koordinative Fähigkeiten und Beweglichkeit. In K. Meinel, & G. Schnabel, *Bewegungslehre - Sportmotorik* (S. 212ff). Aachen: Meyer & Meyer.

- Holden, M., Ventura, J., Lackner, J.R. (1994). Stabilization of posture by precision contact of the index finger. *J Vestib Res*, 4: 285-301
- Horak, F.B., Diener, H.C., Nashner, L.M. (1989). Influence of central set on human postural responses. *J Neurophysiol*, 62: 841-53
- Hubscher, M., Zech, A., Pfeifer, K., Hänsel, F., Vogt, L., Banzer, W. (2010). Neuromuscular training for sports injury prevention: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc*, 42: 413-21.
- Hüfner, K., Binetti, C., Hamilton, D.A., Stephan, T., Flanagan, V.L., Linn, J., Labudda, K., Markowitsch, H., Glasauer, S., Jahn, K., Strupp, M., Brandt, T. (2011). Structural and functional plasticity of the hippocampal formation in professional dancers and slackliners. *Hippocampus*, 21: 855-65.
- Hytonen, M., Pyykko, I., Aalto, H., & Starck, J.(1993). Postural control and age. *Acta Otolaryngol*, 113, 119-122.
- Illert, M., & Kutz-Buschbeck, J. (2005b). Motorisches System. In R. Schmidt, & H. Schaible (Hrsg.), *Neuro- und Sinnesphysiologie*, 5., neu bearbeitete Auflage (S. 125ff). Heidelberg: Springer.
- Kahl, H., Dortsch, R., Ellsasser, G. (2007) Injuries among children and adolescents (1-17 years) and implementation of safety measures. Results of the nationwide German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 50: 718-727.
- Kambas, A., Antoniou, G., Xanthi, G., Heikenfeld, R., Taxildaris, K., Godolias, G. (2004). Unfallverhütung durch Schulung der Bewegungskoordination bei Kindergartenkindern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 2: 44-47.
- Keller, M., Pfusterschmied, J., Buchecker, M., Müller, E., Taube, W. (2012) Improved postural control after slackline training is accompanied by reduced H-reflexes. *Scand J Med Sci Sports*, 22: 471-477.
- Keller, M., Rottger, K., & Taube, W. (2014). Ice skating promotes postural control in children. *Scand J Med Sci Sports*. doi: 10.1111/sms.12230
- Kinzey, S.J., & Armstrong, C.W. (1998). The reliability of the star-excursion test in assessing dynamic balance. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 27: 356-360.
- Lauber, B. & Keller, M. (2012). Improving motor performance: Selected aspects of augmented feedback in exercise and health. *European Journal of Sport Science*, 14(1): 36-43.
- Lauber, B., Keller, M., Gollhofer, A., Müller, E., Taube, W. (2011) Spinal reflex plasticity in response to alpine skiing in the elderly. *Scand J Med Sci Sports*, 21 Suppl 1: 62-68.

- Ledebt, A., Becher, J., Kapper, J., Rozendaal, R.M., Bakker, R., Leenders, I.C., Savelsbergh, G.J. (2005) Balance training with visual feedback in children with hemiplegic cerebral palsy: effect on stance and gait. *Motor Control*, 9: 459-468.
- Llewellyn, M., Yang, J.F., Prochazka, A. (1990). Human H-reflexes are smaller in difficult beam walking than in normal treadmill walking. *Exp Brain Res*, 83: 22-8.
- Mathers, C., Penm, R., Carter, R., Stevenson, C. (1999) *Health System Costs of Injury, Poisoning, and Musculoskeletal Disorders in Australia, 1993–94*. Canberra, Australia: Australian Institute of Health and Welfare.
- Mauritz, K.H. & Dietz, V. (1980). Characteristics of postural instability induced by ischemic blocking of leg afferents. *Exp Brain Res*, 38: 117-9.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc*, 34(4), 689-694.
- Mombarg, R., Jelsma, D., Hartman, E. (2013) Effect of Wii-intervention on balance of children with poor motor performance. *Res Dev Disabil*, 34: 2996-3003.
- Nashner, L.B., Shupert, C.L., Horak, F.B., Black, F.O. (1989). Organization of posture controls: an analysis of sensory and mechanical constraints. *Prog Brain Res*, 80: 411-8.
- Panics, G., Tallay, A., Pavlik, A., Berkes, I. (2008). Effect of proprioception training on knee joint position sense in female team handball players. *Br J Sports Med*, 42: 472-6.
- Peterson, M.L, Christou, E., Rosengren, K.S. (2006). Children achieve adult-like sensory integration during stance at 12-years-old. *Gait Posture*, 23: 455-63
- Pfusterschmied, J., Buchecker, M., Keller, M., Wagner, H., Taube, W., Muller, E. (2013) Supervised slackline training improves postural stability. *European Journal of Sport Science*, 13:49-57.
- Puttemans, V., Wenderoth, N., Swinnen, S.P. (2005). Changes in brain activation during the acquisition of a multifrequency bimanual coordination task: from the cognitive stage to advanced levels of automaticity. *J Neurosci*, 25: 4270-8.
- Riach, C.L., Hayes, K.C. (1987) Maturation of postural sway in young children. *Dev Med Child Neurol*, 29:650-658.
- Schieppati, M., Hugon, M., Grasso, M. Nardone, A., Galante, M. (1994). The limits of equilibrium in young and elderly normal subjects and in parkinsonians. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 93: 286-298.
- Schubert, M., Beck, S., Taube, W., Amtage, F., Faist, M., Gruber, M. (2008). Balance training and ballistic strength training are associated with task-specific corticospinal adaptations. *Eur J Neurosci*, 27: 2007-18.

- Schwesig, R. (2006). *Das posturale System in der Lebensspanne*. Hamburg: Verlag Dr. Kovač.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (1985). The growth of stability: postural control from a development perspective. *J Mot Behav* 17(2): 131-147.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2001). *Motor Control: Theory and practical applications*. 2nd Edition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2006). *Motor Control: Translating Research into Clinical Practice*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Smithson, F., Morris, M.E., Iansek, R. (1998) Performance on clinical tests of balance in Parkinson's disease. *Phys Ther*, 78: 577-592.
- Solopova, I.A., Kazannikov, O.V., Deniskina, N.B., Levik, Y.S., Ivanenko, Y.P. (2003). Postural instability enhances motor responses to transcranial magnetic stimulation in humans. *Neurosci Lett*, 337: 25-8.
- Starker, A, Lampert, T, Worth, A, Oberger, J, Kahl, H, and Bos, K (2007) Motorische Leistungsfähigkeit. Ergebnisse des Kinder- und Jugendgesundheitssurveys (KiGGS). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 50: 775-783.
- Stevens, J.A., Corso, P.S., Finkelstein, E.A., Miller, T.R. (2006) The costs of fatal and non-fatal falls among older adults. *Inj Prev*, 12: 290-295.
- Taube, W. (2013) Neuronale Mechanismen der posturalen Kontrolle und der Einfluss von Gleichgewichtstraining. *J Neurol Neurochir Psychiatr*, 2013; 14 (2): 55-63.
- Taube, W., Bracht, D., Besemer, C., Gollhofer, A. (2010) The Effect of Inline Skating on Postural Control in Elderly People. *Deutsche Zeitschrift Fur Sportmedizin* 61: 45-51.
- Taube, W., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., Gollhofer, A., Schubert, M. (2007a) Cortical and spinal adaptations induced by balance training: correlation between stance stability and corticospinal activation. *Acta Physiol (Oxf)*, 189: 347-358.
- Taube, W., Gruber, M., Gollhofer, A. (2008a) Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta Physiol (Oxf)*, 193: 101-116.
- Taube, W., Kullmann, N., Leukel, C., Kurz, O., Amtage, F., Gollhofer, A. (2007b) Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *Int J Sports Med*, 28: 999-1005.
- Taube, W., Leukel, C., Gollhofer, A. (2008). Influence of enhanced visual feedback on postural control and spinal reflex modulation during stance. *Exp Brain Res*, 188: 353-61.

- Taube, W., Schubert, M., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., Gollhofer, A. (2006) Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance. *J Appl Physiol*, 101: 420-429.
- Thacker, S.B., Stroup, D.F., Branche, C.M., Gilchrist, J., Goodman, R.A., Weitman, E.A. (1999). The prevention of ankle sprains in sports. A systematic review of the literature. *Am J Sports Med*, 27: 753-60
- Verhagen, E., van der Beek, A., Twisk, J., Bouter, L., Bahr, R., van Mechelen, W. (2004). The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains: a prospective controlled trial. *Am J Sports Med*, 32: 1385-93
- Wang, H.K., Chen, C.H., Shiang, T.Y., Jan, M.H., Lin, K.H. (2006). Risk-factor analysis of high school basketball-player ankle injuries: A prospective controlled cohort study evaluating postural sway, ankle strength, and flexibility. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87: 821-825.
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training: leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*. Balingen: Spitta Verlag.
- Yaggie, J.A. & Campbell, B.M. (2006). Effects of balance training on selected skills. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20: 422-428.
- Zahner, L., Pühse, U., Stüssi, C., Schmid, J.A.D. (2004) *Aktive Kindheit – gesund durchs Leben; Handbuch für Fachpersonen*: Bundesamt für Sport Magglingen (BASPO); ISSW Universität Basel; Stiftung für Schadenbekämpfung der Winterthur Versicherungen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 : Exemplarisches Protokoll eines Gleichgewichtstrainings.....	8
Abb. 2 : Neuronale Anpassungsreaktionen nach Gleichgewichtstraining	23
Abb. 3 : Posturomed.....	29
Abb. 4 : Tandemstand auf der Kraftmessplatte.....	31
Abb. 5 : Romberg Test auf der Kraftmessplatte.....	31
Abb. 6 : Holzkreisel auf der Kraftmessplatte	32
Abb. 7 : Schwankweg Kraftmessplattform	35
Abb. 8 : Schwankweg Posturomed	36
Abb. 9 : Sprunghöhe.....	38
Abb. 10 : Explosivkraft	38

Anhang

Anwesenheitsliste Probanden

Tab. 3 : Anwesenheitsliste Probandengruppe

Proband Nr.	05.05.	06.05.	12.05.	13.05.	19.05.	20.05.	26.05.	27.05.	02.06.	03.06.	Total	Bemerkung
1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	5	2 Wochen verletzt
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
4	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	9	
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	
6	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	8	
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	
11	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	6	3x "Info Lehre"
12	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	8	
13	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	9	
14	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9	
15	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	8	
Total	14	8	14	13	14	13	13	12	15	13		

Gleichgewichtstraining Lektionsinhalte

Masterarbeit

Kinderspezifisches Gleichgewichtstraining

Lektionsplanung Gleichgewicht

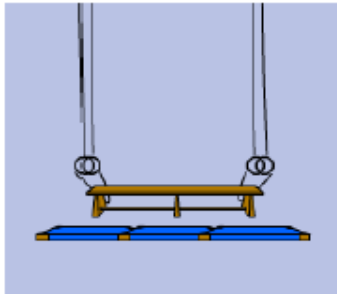
Kategorie: 13 – 15 Jahre

Woche 1: Lektion 1 und 2 (Thema: Balancieren auf verschiedenen Geräten)

Zeit	Inhalt, Organisation	Material/Hinweis
10'	<p>Begrüssung / Informationen zur Lektion und zum Thema</p> <p>Aufwärmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4 Langbänke mit der schmalen Seite nach oben in Kreuzform aufstellen. Je 5 Schüler/innen stehen auf der Bank und positionieren sich je nach Aufgabe in der geforderten Reihenfolge. Dabei dürfen sie nicht von der Bank runtersteigen, sondern müssen ohne runterzufallen einander übersteigen oder aneinander vorbei kommen. Die Gruppe, die am schnellsten die geforderte Aufgabe ohne runterzufallen gelöst hat, bekommt einen Punkt. Aufgaben können sein: <ul style="list-style-type: none"> • Der Älteste zuvorderst, der Jüngste zuhinterst • Der Körpergrösse nach aufstellen • Nach der Anzahl Geschwister aufstellen • Der Geburtsmonat, Geburtstag gibt die Reihenfolge vor - Aufstellung wie bei erster Aufwärmform. Ein Schüler läuft um das Bänklkreuz herum und sagt bei einer Gruppe „Komm mit“ oder „Geh weg“. Die ganze Gruppe läuft entweder in gleicher Richtung (komm mit) wie der Schüler oder in entgegengesetzter Richtung (geh weg) um das ganze Bänklkreuz herum und stellt sich wieder auf die Bank. Wer zuletzt ankommt oder nicht auf der Bank stehen bleiben kann, fängt eine neue Runde an. 	4 Langbänke
5'-10'	<p>Aufstellen Balancierposten (wenn möglich im Vorfeld schon aufstellen, Material bereit legen)</p> <p>-> In der ersten Lektion mehr Zeit für das Aufstellen einberechnen.</p>	Hallenplan erstellen
25'	<p>Hauptteil: Postenarbeit Balancieren</p> <p>Organisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ca. 4 ½ min pro Posten aktiv üben. 30 sec für den Wechsel einplanen. - pro Posten 4 Schülerinnen und Schüler ideal - Hallenplan erleichtert die Organisation beim Aufstellen <p>1. Reckstangen-Balance</p> <p>Die SuS balancieren über die auf ca. 1m Höhe installierte Reckstange. Als Hilfe kann ein Partner oder eine Hochsprunglatte dienen.</p> <p>Varianten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ½- Drehung auf der Stange • auf Medizinball auf der Stange sitzen • einen Ball fangen und zurückwerfen 	2 Reckstangen, 4 dünne Matten, ev. Hochsprunglatte, 2 Bälle

Nur in Doppellektion gemacht!

	<div data-bbox="454 293 992 568" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="411 624 609 649">2. Balanciergeräte</p> <p data-bbox="448 654 983 678">Die SuS balancieren auf diversen „kleinen“ Geräten wie:</p> <ul data-bbox="448 680 647 842" style="list-style-type: none"> - Pedalo - Sypoba - Fussgelenk-Kippen - Balancierkreisel - Medizinball - Balancierkissen <p data-bbox="411 875 571 900">3. Kugelgehen</p> <p data-bbox="448 902 1077 978">Die SuS versuchen auf einem Medizinball zwischen zwei 16er-Matten balancierend vorwärts zu gehen. Als Hilfe beim Aufsteigen kann ein Partner dienen.</p> <div data-bbox="448 1008 971 1270" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="411 1301 564 1326">4. Ballteppich</p> <p data-bbox="448 1330 1094 1406">1 oder 2 Schüler versuchen auf der dicken Matte, welche mit vielen Basketballen unterlegt ist zu stehen, während die anderen die Matte hin und her bewegen.</p> <p data-bbox="448 1411 791 1435"><i>Variante: nur auf einem Bein stehen</i></p> <div data-bbox="448 1464 866 1704" data-label="Image"> </div>	<p data-bbox="1117 660 1337 768">Diverse Balanciergeräte: Pedalo, Sypoba, Stelzen, Kreisel, Medizinball, usw.</p> <p data-bbox="1117 884 1318 936">4 16er-Matten, 2 Medizinbälle</p> <p data-bbox="1117 1305 1302 1357">1 dicke Matte, viele Basketbälle</p>
--	---	--

<p>Nur in Doppellektion gemacht!</p> <p>EL: Bank auf Matten (Mitte unter Bank) für Wippe.</p>	<p>5. Schwebeschaukel</p> <p>Ein Bänkli wird mit der breiten Seite nach oben mit Seilen an zwei Ringpaaren aufgehängt. Unter der Bank werden Matten ausgelegt. Die SuS versuchen auf der Schwebeschaukel zu balancieren, indem sie über die Bank kriechen, gehen oder einfach stehend im Gleichgewicht bleiben. 1 Schüler ist auf der Bank, zwei andere stehen ausserhalb der Matten am Ende der Bank und halten sie, falls der Schüler runterfällt oder sie zu stark wackelt.</p> 	<p>1 Langbank, dünne Matten, 2 Seile</p>
<p>5'</p>	<p>Aufräumen</p>	

Lektionsplanung Gleichgewicht

Kategorie: 13 – 15 Jahre

Woche 2: Lektion 3 und 4 (Thema: Balancieren auf verschiedenen Geräten)

Zeit	Inhalt, Organisation	Material/Hinweis
10'	<p>Begrüssung / Informationen zur Lektion</p> <p>Aufwärmen: Linienfangis: Drei Fänger beginnen. Wenn jemand durch die Fänger berührt wird, dann muss diese Person fangen gehen. Alle SuS dürfen sich nur auf den Markierungslinien bewegen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einander gegenüber stehen, Handflächen aufeinander, den Partner versuchen aus dem Gleichgewicht zu bringen (durch Druck oder Entlastung der Hände). Wer einen Fuss bewegt, hat verloren. • „Güggelikampf“: Einbeinstand, Arme verschränkt, die Partnerin aus dem Gleichgewicht „stossen“ und zum beidbeinigen Stehen zwingen. • Einbeinstand, nach 10s Augen schliessen, nach weiteren 10s Kopf in den Nacken legen. • Einbeinstand; den Partner (sanft) schubsen, sodass er das Gleichgewicht wieder suchen muss -> auch blind versuchen 	
5'-10'	<p>Aufstellen Balancierposten (wenn möglich im Vorfeld schon aufstellen, Material bereit legen)</p> <p>-> In der ersten Lektion der Woche mehr Zeit für das Aufstellen einberechnen.</p>	Hallenplan erstellen
25'	<p>Hauptteil: Postenarbeit Balancieren</p> <p>Organisation: - ca. 4 ½ min pro Posten aktiv üben. 30 sec für den Wechsel einplanen. - pro Posten 4 Schülerinnen und Schüler ideal</p> <p>1. Slackline Die SuS balancieren so lange wie möglich auf der Slackline resp. versuchen möglichst weit kontrolliert zu laufen.</p> <p>2. Physioball Die SuS balancieren auf allen Vieren auf dem Physioball. <i>Varianten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Auf dem Bauch balancieren • Im Kniestand auf dem Ball balancieren • Sich auf dem Ball vorwärts bewegen 	<p>Material auf 2-4 SuS pro Posten ausgerichtet!</p> <p>Slackline</p> <p>2 Physiobälle (grosse Gymnastikbälle)</p>

Nur in
Doppel-
lektion
gemacht!

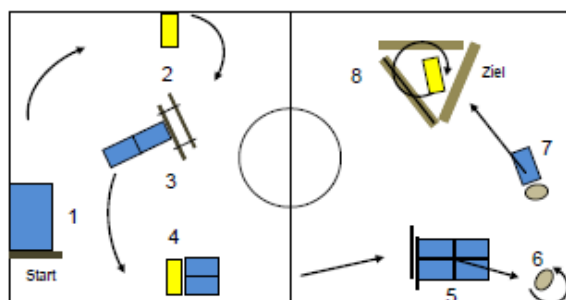
	<p>3. Balanciergeräte Die SuS balancieren auf diversen „kleinen“ Geräten wie:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pedalo - Sypoba - Fussgelenk-Kippen - Balancierkreisel - Medizinball - Balancierkissen <p>4. Medizinball-Kette Die SuS gehen mit oder ohne Hilfe eines Partners über die 6 Medizinbälle. <i>Varianten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Mit Schuhen / ohne Schuhe</i> • <i>Augen geschlossen</i> • <i>Rückwärts / seitwärts gehen</i> <p>5. Ziehtau-laufen Die SuS laufen auf dem Ziehtau ohne den Boden zu berühren.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Mit Schuhen / ohne Schuhe</i> • <i>Augen geschlossen</i> • <i>Rückwärts / seitwärts gehen</i> 	<p>Diverse Balanciergeräte: Pedalo, Sypoba, Stelzen, Kreisel, Medizinball, usw.</p> <p>6 Medizinbälle</p> <p>1 Ziehtau</p>
5'	Aufräumen	

Lektionsplanung Gleichgewicht

Kategorie: 13 – 15 Jahre

Woche 4: Lektion 5 und 6 (Thema: Parkour)

Zeit	Inhalt, Organisation	Material/Hinweis
6'	<p>Begrüssung / Informationen zum Thema Parkour und Freerunning</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parkour (Akzent Tempo), Freerunning (Akzent Akrobatik) - Kombination von Gleichgewicht, Schnelligkeit, Kraft, Beweglichkeit <p>Aufwärmen: (ähnliche Form wie in Woche 1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die SuS laufen zu zweit hintereinander zu Musik durch die Halle. Dabei dürfen sie sich nur auf den Linien fortbewegen. Auf allen blauen Linien laufen sie rückwärts. Der vordere Schüler macht eine Bewegung vor (bspw. Arm kreisen, Hopser hüpfen, auf einem Bein hüpfen, Skipping, usw.), die hintere Schülerin macht die gleichen Bewegungen. --> Auf Pfiff der Lehrperson wechseln die beiden SuS die Position und die andere Schülerin übernimmt den Lead. --> Bei Musikstopp werden verschiedene Gleichgewichtsspiele durchgeführt: <ul style="list-style-type: none"> • Linienwettkampf: Die Partner stehen mit beiden Füßen auf einer Linie, halten sich an einer Hand und versuchen einander durch Ziehen und Stossen aus dem Gleichgewicht zu bringen. • Rücken an Rücken: Die Partner stehen sich Rücken an Rücken gegenüber und versuchen einander mit dem Gesäss aus dem Gleichgewicht zu bringen. Wer einen Fuss bewegt, hat verloren. • Einbeinwettkampf: Beide Partner stehen auf einem Bein und halten sich an den Händen. Durch Ziehen und Schieben wird versucht, den anderen zum Absteigen mit dem zweiten Bein zu bringen. 	Laufmusik (160-170 bpm)
35'	<p>Hauptteil: Parkour (Stationentraining)</p> <p>Hauptteil 1. Lektion:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 Gruppen bilden: Gr. 1 stellt Posten 2 und 3 auf, Gr. 2 Posten 4 und 5, Gr. 3 Posten 7 und 8. (→ Posten 1 und 6 kommen in der Lektion 3 und 4 dazu) - Jede Gruppe sucht nach Passierungsmöglichkeiten an ihren Posten. - Einander die gefundenen Formen zeigen. - ev. noch an zwei anderen Posten üben - ev. Runs <p>Hauptteil 2. Lektion:</p> <ul style="list-style-type: none"> - In der Lektion 2 könnte allenfalls schon der Aufwärmparcours von Woche 5 eingeführt werden. - Gruppen stellen ihre Posten auf und üben diese. - Stationenwechsel, Training, Stationenwechsel, Training. (Je ca. 6 min) - ev. Runs über alle Hindernisse 	<p>Lehrmittel Parkour und Freerunning (bm-sportverlag.ch)</p> <p>Organisationsskizze aufhängen</p> <p>Stationenkarten abgeben</p>



In der EL
nur Posten
1, 3, 4, 7
und 8 ge-
macht.

In der DL
ohne 1 und
6!

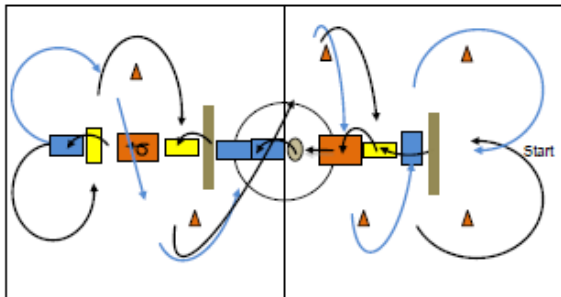
	Material	Traceure
1	Ausgeklappte Sprossenwand, Weichboden	Wand-Challenge, S. 64–67
2	Kasten, mehrteilig	Kasten-Challenge, S. 28–33
3	Stufenbarren, hoher Holm vorne, 2 Matten	Reck-Challenge, S. 46–47
4	Kasten, mehrteilig, 2 Matten	Kasten-Challenge, S. 34–41
5	Doppelreck, 4 Matten	Reck-Challenge, S. 70–73
6	Bock	Bock-Challenge, S. 26–27
7	Bock, Matte	Bock-Challenge, S. 18–25
8	3 Langbänke, Kasten	Sprung-Challenge, S. 86

5' Aufräumen

Lektionsplanung Gleichgewicht

Kategorie: 13 – 15 Jahre

Woche 4: Lektion 7, Einzellektion (Thema: Parkour)

Zeit	Inhalt, Organisation	Material/Hinweis													
	Begrüßung / Informationen zum Thema Parkour und Freerunning														
10'	Aufwärmen: Aufwärmparcours <ul style="list-style-type: none">• 4er Teams zu Musik. 1 Chef andere hinterher. Alles gebrauchen was rumsteht.  <table border="1" data-bbox="446 1135 782 1619"><tr><th>Material von rechts → links</th></tr><tr><td>Langbank</td></tr><tr><td>Matte</td></tr><tr><td>Kasten mehrteilig</td></tr><tr><td>Niedersprungmatte</td></tr><tr><td>Bock</td></tr><tr><td>2 Matten</td></tr><tr><td>Langbank</td></tr><tr><td>Kasten mehrteilig</td></tr><tr><td>Niedersprungmatte</td></tr><tr><td>Kasten mehrteilig</td></tr><tr><td>Matte</td></tr><tr><td>6 Markierkegel</td></tr></table>	Material von rechts → links	Langbank	Matte	Kasten mehrteilig	Niedersprungmatte	Bock	2 Matten	Langbank	Kasten mehrteilig	Niedersprungmatte	Kasten mehrteilig	Matte	6 Markierkegel	Lehnmittel Parkour und Freerunning
Material von rechts → links															
Langbank															
Matte															
Kasten mehrteilig															
Niedersprungmatte															
Bock															
2 Matten															
Langbank															
Kasten mehrteilig															
Niedersprungmatte															
Kasten mehrteilig															
Matte															
6 Markierkegel															

30'	Hauptteil: Parkour (Stationentraining) Hauptteil 7. Lektion: - Gruppen aus vorherigen Lektionen üben an allen Stationen. - Runs zusammenhängen 	Organisationsskizze aufhängen																											
EL: Nur mit Posten 1, 3, 4, 7 und 8!	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>Material</th><th>Traceure</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>Ausgeklappte Sprossenwand, Weichboden</td><td>Wand-Challenge, S. 64–67</td></tr> <tr> <td>2</td><td>Kasten, mehrteilig</td><td>Kasten-Challenge, S. 28–33</td></tr> <tr> <td>3</td><td>Stufenbarren, hoher Holm vorne, 2 Matten</td><td>Reck-Challenge, S. 46–47</td></tr> <tr> <td>4</td><td>Kasten, mehrteilig, 2 Matten</td><td>Kasten-Challenge, S. 34–41</td></tr> <tr> <td>5</td><td>Doppelreck, 4 Matten</td><td>Reck-Challenge, S. 70–73</td></tr> <tr> <td>6</td><td>Bock</td><td>Bock-Challenge, S. 26–27</td></tr> <tr> <td>7</td><td>Bock, Matte</td><td>Bock-Challenge, S. 18–25</td></tr> <tr> <td>8</td><td>3 Langbänke, Kasten</td><td>Sprung-Challenge, S. 86</td></tr> </tbody> </table>		Material	Traceure	1	Ausgeklappte Sprossenwand, Weichboden	Wand-Challenge, S. 64–67	2	Kasten, mehrteilig	Kasten-Challenge, S. 28–33	3	Stufenbarren, hoher Holm vorne, 2 Matten	Reck-Challenge, S. 46–47	4	Kasten, mehrteilig, 2 Matten	Kasten-Challenge, S. 34–41	5	Doppelreck, 4 Matten	Reck-Challenge, S. 70–73	6	Bock	Bock-Challenge, S. 26–27	7	Bock, Matte	Bock-Challenge, S. 18–25	8	3 Langbänke, Kasten	Sprung-Challenge, S. 86	
	Material	Traceure																											
1	Ausgeklappte Sprossenwand, Weichboden	Wand-Challenge, S. 64–67																											
2	Kasten, mehrteilig	Kasten-Challenge, S. 28–33																											
3	Stufenbarren, hoher Holm vorne, 2 Matten	Reck-Challenge, S. 46–47																											
4	Kasten, mehrteilig, 2 Matten	Kasten-Challenge, S. 34–41																											
5	Doppelreck, 4 Matten	Reck-Challenge, S. 70–73																											
6	Bock	Bock-Challenge, S. 26–27																											
7	Bock, Matte	Bock-Challenge, S. 18–25																											
8	3 Langbänke, Kasten	Sprung-Challenge, S. 86																											
5'	Aufräumen																												

Lektionsplanung Gleichgewicht

Kategorie: 13 – 15 Jahre

Woche 4: Lektion 8 (Thema: Wetteifern)

Zeit	Inhalt, Organisation	Material/Hinweis
15'	Begrüssung und Informationen - Peddalo-Rennen: 1. Ausprobieren ohne Wettkampf. 2. Stafette. - Fangis: Wenn gefangen, auf 1-Bein stehen. Erlöst wenn zu zweit Hand in Hand 360° Drehung. - Kleiner Wagen: Die SuS ziehen sich zu zweit auf Teppichresten stehend durch die Halle. Als Wettkampf: Ein Schüler zieht den anderen von einer Hallenwand (Länge oder Breite) zur anderen. Oben wird gewechselt und wieder zurück gezogen. Welches Team ist als erstes zurück?	6 Peddalo's Bündel für die Fänger Teppichresten
30'	Hauptteil: Stafetten Organisation: - in 4er-Teams arbeiten - Stafetten über die ganze Hallenlänge durchführen 1) Team-Balancier-Stafette: Die Laufstrecke besteht aus einem Rundgang aus 4 Teilstrecken, mit je einer unterschiedlichen Aufgabe. Der erste Schüler startet mit dem Pedalo und fährt bis zur Hallenmitte. Dort startet der zweite Schüler und balanciert einen Ball (erschwerend zwei Bälle) prellend über die umgedrehte Langbank und läuft weiter zum dritten Schüler. Dieser erhält von der ersten Person das Peddalo und fährt eine kurze Strecke und übergibt an den vierten Schüler, der rückwärts über das Bänkli balanciert und den Schluss der Strecke zum ersten Schüler sprintet. Am Startpunkt startet wieder der erste Schüler mit dem Pedalo (Schüler 3 muss dieses nach seiner Strecke zu Schüler 1 bringen). Insgesamt werden 4 Runden absolviert. Welche Gruppe ist zuerst vollständig wieder an der Startposition? 2) Kleiner Wagen: Ein Schüler zieht den anderen auf den Teppichresten bis zur Hallenmitte. Dort laufen beide über die Schmalseite einer Langbank, laufen weiter um einen Malstab, zurück ev. rückwärts über die Langbank, der andere wird auf den Teppichresten zurück zur Startlinie gezogen, wo die nächsten zwei warten.	Pro Team: 1 Pedalo, 1 Langbank, 1 od. 2 Bälle, Zwei Teppichresten, 1 Bänkli, 1 Malstab,

	<p>3) Grosser Wagen: (zwei 4er-Teams arbeiten jetzt zusammen) Eine dicke Matte dient als "Wagen" und wird mit Seilen gezogen. Auf dem Wagen stehen zwei SuS, der Wagen wird von mind. 4 SuS an den Seilen gezogen. Jeder Schüler und jede Schülerin muss eine Hallenlänge auf dem Wagen stehen. Gewechselt wird jeweils am Ende einer Hallenlänge. Welches Team ist als erstes wieder im Ziel und hat am wenigsten Strafpunkte (-> Stürzen auf der Matte).</p>	2 dicke Matten, 8 Seile
5'	Aufräumen	







Lektionsplanung Gleichgewicht

Kategorie: 13 – 15 Jahre

Woche 5: Lektion 9+10 (Thema: Kämpfen)

Zeit	Inhalt, Organisation	Material/Hinweis
20'	<p>Begrüßung und Information</p> <p>Aufwärmen: Würfeleinlaufen in Gruppen Rund um das Volleyballfeld befindet sich die Laufstrecke. Innerhalb des Volleyballfeldes finden verschiedene Gleichgewichtsaufgaben statt. Die Klasse wird in 4er-Gruppen aufgeteilt. Je zwei der Gruppe sind auf der Laufstrecke, während die anderen zwei in der Mitte würfeln und eine Übung durchführen. Nach einer Übung wechseln die beiden auf die Laufstrecke und die anderen beiden würfeln ihre Aufgabe.</p>	<p>Würfelblatt (Anhang)</p> <p>Würfel, zwei Böcke, 4 Teppichresten, 4 Medizinbälle, zwei dünne Matten, 2 Pedalo</p>
20'	<p>Hauptteil: Einander herausfordern</p> <p>Organisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Material wie die zwei Böcke und dünne Matten werden vom Aufwärmen übernommen. - Die SuS sammeln Punkte, indem sie einander in verschiedenen „Kampfsituationen“ herausfordern. - Pro Sieg gibt es einen Punkt. Wer hat zum Schluss die meisten Punkte gesammelt? - Die SuS suchen sich in etwa gleich starke Gegner. <ol style="list-style-type: none"> 1. Duell: Zwei Böcke werden einander gegenüber gestellt. Zwei SuS stehen je auf einem Bock und versuchen den anderen aus dem Gleichgewicht und damit vom Bock zu stossen. Die Füße dürfen nicht abgehoben werden. Sich nur an einer Hand fassen. (→ Übung vom Würfeleinlaufen übernehmen) <i>Erschwerung: Ein Bein des Bocks kürzer machen, einen Arm anlegen</i> 2. Langbankkampf: Auf der schmalen Seite der Langbank wird versucht den Gegner mit den Schultern von der Langbank zu stossen. Option: Blind über die Langbank laufen (vw. Und rw.), Partner hilft. 3. Krokodilgraben: zwei Langbänke mit der Schmalseite oben so gegenüber stellen, dass eine dicke Matte dazwischen passt. Zwei SuS stehen sich gegenüber auf den Bänken und halten in der Hand das Ende eines Seils. Sie versuchen den anderen aus dem Gleichgewicht zu bringen, indem mal stark oder mit Ruck am Seil gezogen wird. Die SuS stehen dabei auf einem Bein. 	<p>4 Böcke, dünne Matten</p> <p>4 Langbänke</p> <p>2 Langbänke, 1 dicke Matte, Seile</p>

	<p>4. Güggelikampf: auf der 16cm dicken Matte findet ein Güggelikampf statt. Zwei SuS stehen sich mit verschränkten Armen auf einem Bein gegenüber und versuchen durch Stossen den Gegner aus dem Gleichgewicht zu bringen.</p> <p>5. Surfkampf: Kastenoberteil mit 4 Basketbällen unterlegen. SuS stehen auf Kastenoberteil und versuchen den Anderen nur durch bewegen des Kastenoberteils aus dem Gleichgewicht zu bringen</p>	<p>1x16er-Matte</p> <p>Kastenoberteil, 4 Basketbälle</p>
5'	Aufräumen	

	Versucht einander auf dem Bock stehend aus dem Gleichgewicht zu bringen. Haltet euch nur an einer Hand!
	Zieht einander auf zwei Teppichresten je eine Länge des Volleyballfeldes.
	Klettert der Sprossenwand entlang und überklettert einander 4-mal.
	Laufe auf zwei Medizinbällen eine halbe Länge des Volleyballfeldes. Der Boden darf nicht berührt werden.
	Bringt euch in der Liegestützposition aus dem Gleichgewicht, indem ihr an den Händen des Partners zieht. → auf der Matte
	Fahrt mit dem Pedalo zwei Längen des Volleyballfeldes.

Persönliche Erklärung

„Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Veröffentlichungen oder aus anderweitig fremden Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.“

Ort, Datum

Unterschrift

Urheberrechtserklärung

„Der Unterzeichnende anerkennt, dass die vorliegende Arbeit ein Bestandteil der Ausbildung, Einheit Bewegungs- und Sportwissenschaften der Universität Freiburg ist. Er überträgt deshalb sämtliche Urhebernutzungsrechte (dies beinhaltet insbesondere das Recht zur Veröffentlichung oder zu anderer kommerzieller oder unentgeltlicher Nutzung) an die Universität Freiburg.“

Ort, Datum

Unterschrift