

**Y-Balance Testleistungen für die unteren und oberen  
Extremitäten im Kindes- und Jugendalter: Untersuchungen zur  
Validität, zur Reliabilität und zu Normwerten**

Der Fakultät für Bildungswissenschaften der Universität Duisburg-Essen  
zur Erlangung des akademischen Grades Dr. phil.

vorgelegte Dissertation von

Gerrit Schwiertz, M.Ed.

aus Essen

Erstgutachter: Prof. Dr. Thomas Mühlbauer

Zweitgutachter: Prof. Dr. Thomas Jaitner

Tag der mündlichen Prüfung: 15.11.2023

# DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

ub | universitäts  
bibliothek

Diese Dissertation wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt und liegt auch als Print-Version vor.

**DOI:** 10.17185/duepublico/81290

**URN:** urn:nbn:de:hbz:465-20240109-112751-0

Alle Rechte vorbehalten.

## **Gliederung**

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>IV</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>V</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 Generelle Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Zielstellungen .....	3
<b>2 Theoretischer Hintergrund und Forschungsstand</b> .....	<b>4</b>
2.1 Entwicklung der motorischen Hauptbeanspruchungsformen im Kindes- und Jugendalter .....	4
2.1.1 Herkömmliche Verläufe .....	4
2.1.2 Aktuelle Trends .....	6
2.2 Erfassung und Bewertung der motorischen Hauptbeanspruchungsformen im Kindes- und Jugendalter .....	8
2.2.1 Gleichgewichtstests .....	8
2.2.2 Beweglichkeitstests .....	13
<b>3 Untersuchungsmethodologische Konsequenzen</b> .....	<b>16</b>
3.1 Herleitung der Forschungshypothese für die Validierungsstudie .....	16
3.2 Herleitung der Forschungshypothese für die Reliabilitätsstudien .....	17
3.3 Herleitung der Forschungshypothesen für die Normwertstudien .....	18
<b>4 Generelle Methodik</b> .....	<b>19</b>
4.1 Stichproben .....	19
4.2 Studiendesigns .....	19
4.3 Testverfahren .....	19
4.3.1 Anthropometrische Kennwerte .....	19
4.3.2 Y-Balance Test für die unteren Extremitäten .....	20
4.3.3 Y-Balance Test für die oberen Extremitäten .....	23
4.4 Datenanalyse .....	23
4.5 Statistische Analyse .....	24
<b>5 Hauptergebnisse</b> .....	<b>26</b>
5.1 Studie I: Discriminative Validity of the Lower and Upper Quarter Y Balance Test Performance: A Comparison between Healthy Trained and Untrained Youth .....	26
5.2 Studie II: Performance and Reliability of the Lower Quarter Y Balance Test in Healthy Adolescents from Grade 6 to 11 .....	27

5.3 Studie III: Reliability and Minimal Detectable Change of the Upper Quarter Y-Balance Test in Healthy Adolescents Aged 12 to 17 Years.....	28
5.4 Studie IV: Lower Quarter Y Balance Test Performance: Reference Values for Healthy Youth Aged 10 to 17 Years.....	29
5.5 Studie V: Upper Quarter Y Balance Test Performance: Normative values for Healthy Youth Aged 10 to 17 Years.....	30
<b>6 Generelle Diskussion .....</b>	<b>31</b>
6.1 Bestimmung und Einschätzung der diskriminanten Validität .....	31
6.2 Bestimmung und Klassifikation der Test-Retest-Reliabilität sowie Bestimmung der minimal nachweisbaren Veränderung .....	32
6.3 Generierung alters- und geschlechtsspezifischer Normwerte.....	33
<b>7 Schlussfolgerungen und Ausblick .....</b>	<b>37</b>
<b>8 Literatur .....</b>	<b>40</b>
<b>9 Anhang .....</b>	<b>44</b>
Studie I: Discriminative Validity of the Lower and Upper Quarter Y Balance Test Performance: A Comparison between Healthy Trained and Untrained Youth .....	44
Studie II: Performance and Reliability of the Lower Quarter Y Balance Test in Healthy Adolescents from Grade 6 to 11 .....	53
Studie III: Reliability and Minimal Detectable Change of the Upper Quarter Y-Balance Test in Healthy Adolescents Aged 12 to 17 Years.....	58
Studie IV: Lower Quarter Y Balance Test Performance: Reference Values for Healthy Youth Aged 10 to 17 Years.....	66
Studie V: Upper Quarter Y Balance Test Performance: Normative values for Healthy Youth Aged 10 to 17 Years.....	73

## **Erklärungen**

## Abkürzungsverzeichnis

WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
YBT	Y-Balance-Test
engl.	Englisch
min	Minuten
cm	Zentimeter
YBT-LQ	YBT-Lower Quarter (untere Extremitäten)
YBT-UQ	YBT-Upper Quarter (obere Extremitäten)
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
kg	Kilogramm
m	Meter
AT	Anterior
PM	Posteromedial
PL	Posterolateral
MD	Medial
IL	Infolateral
SL	Superolateral
% AL	normalisierte maximale Reichweite des Arms
% LL	normalisierte maximale Reichweite des Beins
CS	Composite Score
MW	Mittelwert
SD	Standardabweichung
CI	Confidence Interval
SEM	Standard Error of Measurement
MDC	Minimal Detectable Change
<i>d</i>	Cohen's <i>d</i> (Effektgröße)
ROC	Receiver Operator Characteristics
AUC	Area Under the Curve
$\eta_p^2$	partielles Eta-Quadrat
SPSS	Statistical Package for Social Sciences

---

## **Abbildungsverzeichnis**

- Abbildung 1A: Entwicklung der Leistung im Einbeinstand vom Kindes- zum Jugendalter
- Abbildung 1B: Entwicklung der Leistung beim Balancieren vom Kindes- zum Jugendalter
- Abbildung 2: Entwicklung der Leistung bei der Rumpfbeuge vom Kindes- zum Jugendalter
- Abbildung 3: Trends der aeroben und anaeroben Leistungsfähigkeit zwischen 1958-2002
- Abbildung 4: Anzahl der Bodenkontakte beim Einbeinstand bei Kindern und Jugendlichen
- Abbildung 5: Reichweite im Sit-and-Reach Test von Kindern und Jugendlichen
- Abbildung 6: Die Schwerkraftlinie ist eine vertikale Linie vom Körperschwerpunkt eines Menschen zur Fläche, auf die er steht.
- Abbildung 7: Test „Einbeinstand“
- Abbildung 8: Test „Balancieren rückwärts“
- Abbildung 9: Test „Push-and-Release“
- Abbildung 10: Test „Sit-and-Reach“
- Abbildung 11: Test „Stand-and-Reach“
- Abbildung 12A: Vermessung Armlänge
- Abbildung 12B: Vermessung Beinlänge
- Abbildung 13: Y-Balance-Test-Kit
- Abbildung 14A: Darstellung der Durchführung des YBT-LQ
- Abbildung 14B: Darstellung der Durchführung des YBT-UQ

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Vergleich der YBT-UQ-Leistungen der Studie V mit der Studie von Borms und Cools [27]

## **Danksagung**

Als erstes möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Thomas Mühlbauer bedanken. Vielen Dank, dass du mir die Möglichkeit einer Promotion gegeben hast und an mich geglaubt hast. Bei Fragen warst du immer ansprechbar und stets ein kritischer, aber auch ein verständnisvoller und aufbauender Doktorvater. Durch deine Expertise, konntest du mich und das Projekt immer weiter auf ein höheres Level bringen. Vielen Dank!

Als nächstes möchte ich mich bei den Menschen bedanken, mit denen ich zusammengearbeitet habe. Bei meinem Mitdoktoranten Dr. Simon Schedler für den Austausch und der Unterstützung auf unserem oft parallel verlaufenden Weg. Zudem bedanke ich mich bei Dr. Dirk Hoffmann, Dr. Julian Bauer, Dennis Brückner und Johanna Lambrich für die Flurgespräche, die gewinnbringenden Ideen, fachlichen Austausche und längeren Fotosessions. Ein weiterer Dank geht an meinen Bürokollegen Dr. Marco Hagen. Im Jahr 2011 hast du mir die Chance als studentische Hilfskraft gegeben und mir den wissenschaftlichen Weg geebnet. Danke für deine wissenschaftliche Unterstützung und die vielen lustigen überfachlichen Bürogespräche. Ein Dank geht auch an Prof. Dr. Ewald Hennig, der mich im Vorfeld meiner Promotion an verschiedensten Projekten arbeiten ließ, in denen mein Interesse für die Wissenschaft weiter wuchs. Zudem möchte ich mich nochmals bei allen beteiligten Schulen, Vereinen, Lehrkräften, Trainerinnen und Trainern sowie bei den Schülerinnen und Schülern für ihr Engagement und die tolle Unterstützung bedanken.

Mein größter Dank geht natürlich an meine Eltern, die mich in allen Lebenslagen unterstützen. Ihr seid mein Rückhalt und ohne euch wäre vieles nicht möglich gewesen. Ein Dank geht auch an meine Schwester. Ich bin glücklich, dass wir uns täglich in der Schule sehen, dass du immer ein offenes Ohr für mich hast und ich mit allen Sorgen zu dir kommen kann.

Ein besonderer Dank geht an meine Frau. Danke, dass du mir die meisten bürokratischen Arbeiten rund um unser Leben abnimmst, dass du da bist, wenn es schwierige Situationen zu bewältigen gibt. Danke für unsere tollen Urlaube und Auszeiten, in denen ich Abschalten und wieder Kraft sammeln konnte. Ich freue mich auf die weitere Zukunft mit dir und unserer Tochter Marit. Danke, dass du immer für mich da bist.



## **Zusammenfassung**

**Hintergrund:** Das Gleichgewicht und die Beweglichkeit (Schultermobilität/ -stabilität) repräsentieren grundlegende motorische Fähigkeiten. Ein weitverbreiteter Test zur Erfassung und Bewertung dieser beiden Fähigkeiten ist der Y-Balance-Test (YBT). Der YBT kann sowohl für die unteren Extremitäten (YBT-LQ) zur Gleichgewichts- als auch für die oberen Extremitäten (YBT-UQ) zur Beweglichkeitsdiagnose eingesetzt werden. Für das Kindes- und Jugendalter existieren jedoch bislang keine Studien zur Ausprägung der Testgütekriterien Validität und Reliabilität. Zudem fehlen Studien zu alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerten.

**Ziel:** Die Ziele dieser Dissertation bestanden darin, die Validität und Reliabilität des YBT im Kindes- und Jugendalter zu überprüfen sowie alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte für den Altersbereich von 10–17 Jahren zu erstellen.

**Methoden:** Die Untersuchung der Diskriminanzvalidität (Studie I) erfolgte für den YBT-LQ durch den Vergleich der Leistungen zwischen Fußballern ( $n=69$ ) und Nichtsportlern ( $n=69$ ) mit einem mittleren Alter von ca. 14 Jahren und für den YBT-UQ durch den Vergleich der Leistungen zwischen Schwimmerinnen und Schwimmern ( $n=74$ ) und Nichtsportlerinnen und -sportlern ( $n=74$ ) mit einem mittleren Alter von ca. 12 Jahren. Die Untersuchung der Test-Retest-Reliabilität (Studie II und III) erfolgte für den YBT-LQ ( $N=178$ , Alter: 11–19 Jahre) wie auch für den YBT-UQ ( $N=111$ , Alter: 12–17 Jahre) bei Kindern und Jugendlichen. Die Bestimmung alters- und geschlechtsspezifischer Referenzwerte (Studie IV und V) erfolgte sowohl für den YBT-LQ ( $N=669$ ) als auch für den YBT-UQ ( $N=665$ ) bei 10- bis 17-jährigen Personen.

**Ergebnisse:** Die Überprüfung der Diskriminanzvalidität (Studie I) ergab signifikant bessere Leistungen im YBT-LQ und im YBT-UQ für die trainierten im Vergleich zu den untrainierten Personen. Zudem betrug die Chance zwischen den beiden Personengruppen zu differenzieren, einen AUC-Wert von  $\geq 74$  % für den YBT-LQ und von  $\geq 71$  % für den YBT-UQ. Die Prüfung der Test-Retest-Reliabilität (Studie II und III) offenbarte ICC-Werte zwischen 0,40 und 0,96 für den YBT-LQ und zwischen 0,47 und 0,97 für den YBT-UQ, was auf eine „mäßig bis gute“ bis „ausgezeichnete“ Wiederholbarkeit hinweist. Auch die relativ niedrigen SEM-Werte ( $< 10$  %) in beiden Tests unterstreichen das Vorliegen der Test-Retest-Reliabilität. Zudem wurden für beide Tests MDC-Werte ermittelt, um klinisch relevante Effekte zu identifizieren. Des Weiteren wurden für beide Tests signifikante Unterschiede in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht gefunden (Studie IV und V). Zudem zeigten die Perzentilkurven sowohl für die Jungen als auch für die Mädchen kurvilineare Verläufe.

**Konklusion:** Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der YBT ein valider Test ist, um zwischen trainierten und untrainierten Jugendlichen hinsichtlich des Gleichgewichts (YBT-LQ) und der Beweglichkeit (YBT-UQ) zu diskriminieren. Somit ist es möglich, diesen Test zur Identifikation von leistungsstarken versus -schwachen Heranwachsenden einzusetzen und diesen dann entsprechende Förderprogramme (Talent- oder Bewegungsförderung) zu empfehlen. Zudem deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der YBT ein zuverlässiger Test zur Erfassung des Gleichgewichts (YBT-LQ) und der Beweglichkeit (YBT-UQ) bei Kindern und Jugendlichen ist und somit sich zur Detektion von Veränderungen (z. B. im Rahmen von Interventionen) eignet. Außerdem verweisen die Ergebnisse auf eine alters- und geschlechtsabhängige Ausprägung des Gleichgewichts und der Beweglichkeit (Schultermobilität/ -stabilität) im Kindes und Jugendalter, so dass die berechneten Referenzwerte eine entwicklungsgemäße Klassifikation der individuellen Leistung ermöglichen.

*Schlagworte:* Gleichgewicht; Beweglichkeit; Heranwachsende; Gültigkeit; Zuverlässigkeit; Referenzwerte

## **Abstract**

**Background:** Balance and flexibility (i.e., shoulder mobility/stability) represent basic motor abilities. A widely used test to assess and evaluate these two abilities is the Y-Balance-Test (YBT). The YBT can be used for both the lower extremities (YBT-LQ) for balance and the upper extremities (YBT-UQ) for flexibility assessment. For children and adolescents, however, there are no studies available that investigated the test quality criteria validity and reliability. In addition, there is a lack of studies on age- and sex-specific reference values.

**Aims:** The purposes of this PhD thesis were to examine the validity and reliability of the YBT in childhood and adolescence and to establish age- and sex-specific reference values for 10- to 17-year-olds.

**Methods:** Discriminative validity (study I) was studied for the YBT-LQ by comparing performance between male soccer players ( $n=69$ ) and male non-athletes ( $n=69$ ) with a mean age of approximately 14 years, and for the YBT-UQ by comparing performance between female and male swimmers ( $n=74$ ) and female and male non-athletes ( $n=74$ ) with a mean age of approximately 12 years. Test-retest reliability (study II and III) was investigated for the YBT-LQ ( $N=178$ , age: 11–19 years) as well as for the YBT-UQ ( $N=111$ , age: 12–17 years) in children and adolescents. The determination of age- and sex-specific reference values (study IV and V) was carried out for the YBT-LQ ( $N=669$ ) as well as for the YBT-UQ ( $N=665$ ) in 10- to 17-year-olds.

**Results:** The investigation of discriminative validity (study I) revealed significantly better performances in the YBT-LQ and YBT-UQ for the trained compared to the untrained participants. In addition, the chance to discriminate between both groups yielded an AUC value  $\geq 74\%$  for the YBT-LQ and an AUC value  $\geq 71\%$  for the YBT-UQ. The assessment of test-retest reliability (study II and III) revealed ICC values between 0.40 and 0.96 for the YBT-LQ and between 0.47 and 0.97 for the YBT-UQ, indicating "moderate to good" to "excellent" repeatability. The relatively low SEM values ( $<10\%$ ) in both tests also highlights the presence of test-retest reliability. In addition, MDC values were determined for both tests to identify clinically relevant effects. Further, significant differences were found for both tests as a function of age and sex (study IV and V). In addition, the percentile curves showed curvilinear progressions for both boys and girls.

**Conclusion:** The results suggest that the YBT is a valid test to discriminate between trained and untrained adolescents in terms of balance (YBT-LQ) and flexibility (YBT-UQ). Thus, it is possible to use these tests to identify high-performing versus low-performing adolescents and then recommend appropriate training programs to them (i.e., promoting talents or person with

low performance levels). In addition, the results indicate that the YBT is a reliable test for assessing balance (YBT-LQ) and flexibility (YBT-UQ) in children and adolescents and is thus suitable for detecting changes (e.g., due to physical fitness interventions). Furthermore, the results indicate an age- and sex-specific expression of balance and flexibility (i.e., shoulder mobility/stability) in children and adolescents, so that the calculated reference values allow a developmentally appropriate classification of individual performance.

*Keywords:* Balance; Flexibility/Mobility; Grown-ups; Validity; Repeatability; Norm values

# 1 Generelle Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Körperliche Aktivität ist definiert als Bewegung der Skelettmuskulatur, die zu einem erhöhten Energieverbrauch führt [1]. Durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) [2] wird für Heranwachsende eine anstrengende körperliche Aktivität für die Dauer von 60 Minuten pro Tag für einen gesunden Lebensstil empfohlen. Daten von Lampert und Kollegen [3] zeigten jedoch, dass lediglich 20–30 % der untersuchten Kinder und Jugendlichen diese Empfehlung umsetzen. Die Gründe hierfür sind vielfältig und schließt die Verhältnis- (Urbanisierung, Verkehrsdichte, etc.) wie auch die Verhaltensebene (Transport zur Schule, Medienkonsum etc.) ein [4, 5]. Ein geringes Ausmaß an körperlicher Aktivität ist bereits im Kindes- und Jugendalter mit einem erhöhten Risiko für das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Stichwort: Metabolisches Syndrom, d. h. erhöhte Werte bzgl. Hautfaltendicke, Blutdruck, Blutzucker, Blutfett) sowie mit niedrigen motorischen Leistungen verbunden [6, 7]. Letzteres kann wiederum eine begrenzte Teilhabe an Bewegungs-, Spiel- und Sportangeboten sowie ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von Verletzungen bedeuten. Für den ersten Fall zeigten Vaisto et al. [8] bei sechs- bis achtjährigen Kindern, dass eine geringe körperliche Aktivitätsdauer mit einem signifikant erhöhten Risiko hinsichtlich des Auftretens eines metabolischen Syndroms verbunden war. Für den zweiten Fall berichteten Wang et al. [9], dass ein langer Schwankweg<sup>1</sup> während des Einbeinstands mit einem signifikant erhöhten Risiko für das Erleiden von Fußgelenksverletzungen bei jugendlichen Basketballspielern (mittleres Alter:  $16,5 \pm 1,1$  Jahre) assoziiert war.

Gering ausgeprägte motorische Leistungen scheinen sich in den letzten Jahrzehnten zu manifestieren. Zum Beispiel verdeutlichten die Arbeiten von Tomkinson und Kollegen [10, 11] sowie die Arbeit von Runhaar und Kollegen [12] rückläufige Trends in der motorischen Leistungsfähigkeit von Heranwachsenden. Dies betrifft vor allem Variablen der aeroben Ausdauer (z. B. 20-m-Shuttle-Run Test) und der Schnellkraft (z. B. Standweitsprung), aber auch andere Leistungen, wie die Beweglichkeit und das Gleichgewicht. Zum Beispiel konnte in mehreren Studien gezeigt werden, dass ein schlecht ausgeprägtes Gleichgewicht (d. h. hohe Schwankwerte etc.) einen bedeutsamen Indikator für ein erhöhtes Verletzungsrisiko darstellt [9, 13, 14]. Zudem zeigt die Studie von Hrysmallis und Kollegen [15], dass erfolgreiche Athletinnen und Athleten aus verschiedenen Sportarten (Fußball, Golf, Sportschießen) eine bessere Haltungskontrolle aufweisen als weniger erfolgreiche Sportlerinnen und Sportler.

---

<sup>1</sup> Positionsveränderung des projizierten Körperschwerpunktes über die Zeit während der Durchführung eines Gleichgewichtstests auf einer Kraftmessplatte.

Somit stellen die Erfassung und Bewertung motorischer Leistungen von Kindern und Jugendlichen eine wichtige Aufgabe von Erzieherinnen und Erziehern, Lehrerinnen und Lehrern, Trainerinnen und Trainern sowie Therapeutinnen und Therapeuten dar. Denn anhand der Ergebnisse lassen sich Aussagen hinsichtlich des körperlichen Leistungsniveaus treffen, der Gesundheitsstatus einschätzen und Bewegungsempfehlungen ableiten.

Defizite in der motorischen Leistungsfähigkeit von Heranwachsenden lassen sich durch die Anwendung entsprechender Testverfahren diagnostizieren. Für die Erfassung und Beurteilung der Beweglichkeit und des Gleichgewichts im Kindes- und Jugendalter existieren eine Vielzahl von Tests, die jedoch etliche Kritikpunkte aufweisen. Für den Bereich der Beweglichkeit werden Punkte, wie die singuläre Muskel-/Gelenkbetrachtung und die Beeinflussung durch körperbauliche Merkmale (z. B. Beinlänge), genannt [16]. In Bezug auf das Gleichgewicht werden, u. a. die vorrangige Betrachtung des statischen Gleichgewichts und der fehlende Praxisbezug als kritische Punkte genannt [17].

Ein kostengünstiger und relativ einfach umzusetzender Feldtest, anhand dessen sich Aussagen zum Leistungszustand in verschiedenen Sportarten sowie zum Verletzungsrisiko bei Erwachsenen ableiten lassen, stellt der Y-Balance-Test (YBT) dar. Dieser Test lässt sich sowohl mit den unteren (YBT-LQ) als auch mit den oberen (YBT-UQ) Extremitäten durchführen. Im ersten Fall lassen sich Aussagen zur Ausprägung des dynamischen Gleichgewichts und im zweiten Fall zur Mobilität sowie Stabilität des Schultergürtels treffen. Im Gegensatz zum Erwachsenenalter wurden für das Kindes- und Jugendalter die Validität und Reliabilität des YBT bislang nicht systematisch überprüft. Beides sind aber wichtige Kriterien, um die Aussagekraft von Befunden zu gewährleisten (Gültigkeit) sowie Interventionseffekte von Messfehlern zu unterscheiden (Reliabilität). Des Weiteren bestehen Forschungslücken mit vergleichsweise großen Stichproben, zur Generierung von alters- und geschlechtsspezifischen Normwerten, auf deren Basis eine Einschätzung des Leistungsniveaus vorgenommen werden kann. Diese sind wiederum notwendig, um zwischen Personen mit hohem versus niedrigem Leistungsniveau zu differenzieren. Aus diesen Erkenntnisgewinnen können aufbauend individuell zugeschnittene Programme entwickelt werden. Für Kinder und Jugendliche mit hohen Leistungen wären dies bspw. Talentförderprogramme und für Heranwachsende mit niedrigen Leistungen könnten dies Bewegungsförderprogramme sein.

## 1.2 Zielstellungen

Zusammenfassend bestanden die Ziele der vorliegenden kumulativen Dissertation in der

- (1) Bestimmung und Einschätzung der Diskriminanzvalidität (Studie I),
- (2) Bestimmung und Klassifikation der Test-Retest Reliabilität sowie Bestimmung der minimal nachweisbaren Veränderung (Studien II und III) und
- (3) Generierung alters- und geschlechtsspezifischer Normwerte (Studien IV und V).

Aufgrund der bislang nicht (Validität) bis kaum (Reliabilität und Normwerte) vorhandenen Studienlage im Kindes- und Jugendalter, erfolgte die Umsetzung der Zielstellungen ausschließlich im zuvor genannten Altersbereich.

## 2 Theoretischer Hintergrund und Forschungsstand

### 2.1 Entwicklung der motorischen Hauptbeanspruchungsformen im Kindes- und Jugendalter

#### 2.1.1 Herkömmliche Verläufe

Bewegung, Spiel und Sport sind wichtige körperliche Aktivitäten für einen gesunden Lebensstil. Insbesondere im Kindes- und Jugendalter werden die Grundlagen für die Ausprägung der motorischen Fähigkeiten gelegt. Dabei spielen Gleichgewicht und Beweglichkeit eine wichtige Rolle, um Bewegungen im Allgemeinen (z. B. Treppensteigen) und sportliche Aktivitäten im Speziellen (z. B. Balancieren auf dem Schwebebalken) ausführen zu können.

Insbesondere das Gleichgewicht ist essenziell für jegliche Bewegungen. Dabei muss das Gleichgewicht nochmals in zwei grundlegende Bereiche unterteilt werden, zum einen das statische Gleichgewicht und zum anderen das dynamische Gleichgewicht. Der Unterschied zwischen den beiden Gleichgewichtsformen wird an der Art der Bewegung deutlich. Zum Beispiel repräsentieren Sitzen und Stehen das statische Gleichgewicht und Gehen und Laufen das dynamische Gleichgewicht. Die Entwicklung des Gleichgewichts im Kindes- und Jugendalter soll anhand des Einbeinstands für das statische Gleichgewicht (Abbildung 1 A) und anhand des Balancierens rückwärts für das dynamische Gleichgewicht (Abbildung 1 B) in der Studie von Woll und Kollegen [18] näher beschrieben werden. Dabei weisen wenige Bodenkontakte beim Einbeinstand auf eine bessere statische Gleichgewichtsleistung hin. Eine hohe Punktzahl beim Rückwärtsbalancieren weist auf eine bessere dynamische Gleichgewichtsleistung hin. Die Entwicklung des Gleichgewichts, sowohl statisch als auch dynamisch, erfährt im Kindesalter (4–11/12 Jahren) eine stetige Zunahme, wobei die Mädchen leicht bessere Ergebnisse erzielen als die Jungen. In der Pubertät (11/12–17 Jahre) stagniert die

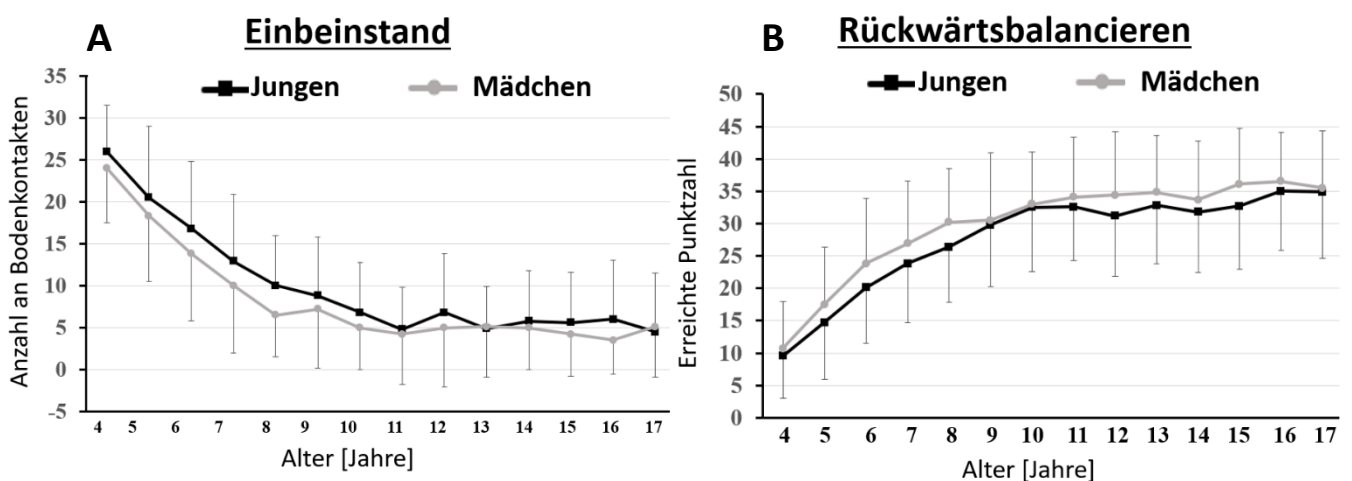


Abbildung 1: Entwicklung der Leistung im Einbeinstand (A) und im Balancieren rückwärts (B) vom Kindes- zum Jugendalter. Quelle: Woll et al. (2011).



Entwicklung des statischen Gleichgewichts oder verbessert sich nur geringfügig, wobei die Mädchen gegenüber den Jungen weiterhin leicht bessere Werte aufweisen.

Ein weiterer wichtiger Faktor, um Bewegungen zielgerichtet und verletzungsfrei ausführen zu können, ist die Beweglichkeit des Band-, Sehnen- und Muskelapparats. Gerade die Beweglichkeit und Dehnarbeit des Bewegungsapparats beugen Verletzungen oder Fehlhaltungen vor [9]. Die Entwicklung der Beweglichkeit im Kindes- und Jugendalter soll ebenfalls anhand der Studie von Woll und Kollegen [18] am Beispiel der Rumpfbeuge genauer beschrieben werden (Abbildung 2). Dabei stehen niedrigere Werte für eine größere Reichweite und einer besseren Beweglichkeit. In den ersten Jahren des Kindesalters (4–6 Jahren) ist die Beweglichkeit konstant. Erste leichte Verbesserungen zeigen sich bei beiden Geschlechtern ab dem 6. Lebensjahr. Die beste Beweglichkeitsleistung erzielen Mädchen zwischen dem 10. und 11. Lebensjahr, Jungen erzielen diese im Alter von ca. 12 Jahren. Im weiteren Verlauf der Jugendphase und mit Beginn der Pubertät nimmt die Beweglichkeit leicht ab, wobei Jungen im Alter von 15 und 16 Jahren und Mädchen im Alter 13, 15 und 17 Jahren nochmals leichte Verbesserungen aufweisen. Im Vergleich der beiden Geschlechter erzielen Mädchen im gesamten Entwicklungsverlauf bessere Ergebnisse als Jungen.

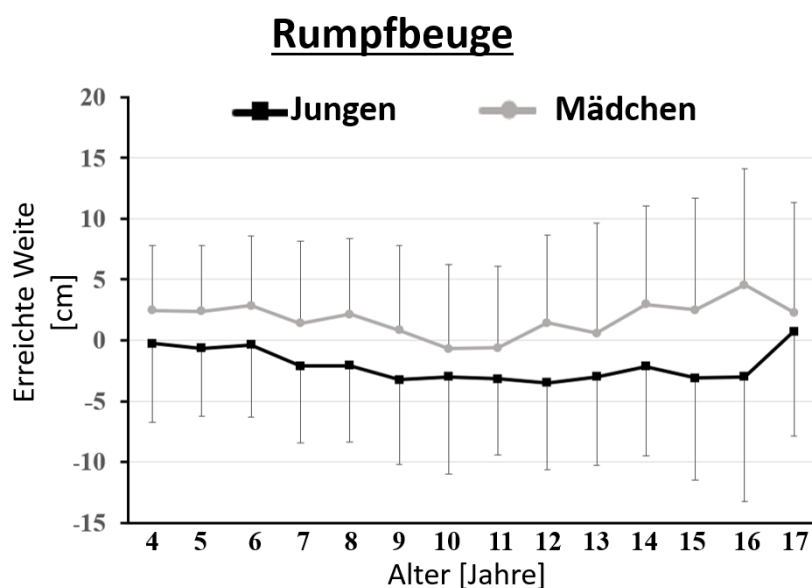


Abbildung 2: Entwicklung der Leistung in der Rumpfbeuge vom Kindes- zum Jugendalter. Quelle: Woll et al. (2011).

### 2.1.2 Aktuelle Trends

Tomkinson und Kollegen [10, 11, 19] fanden heraus, dass die aerobe Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen seit 1970 um 0,46 % pro Jahr rückläufig ist (Abbildung 3: schwarz ausgefüllte Dreiecke). Anders verhielt es sich bei der anaeroben Leistungsfähigkeit, die sich von 1958 bis 1982 leicht verbesserte, um nach einem kurzen Leistungsplateau bis 2002 abzufallen (Abbildung 3: schwarz ausgefüllte Kreise) [10].

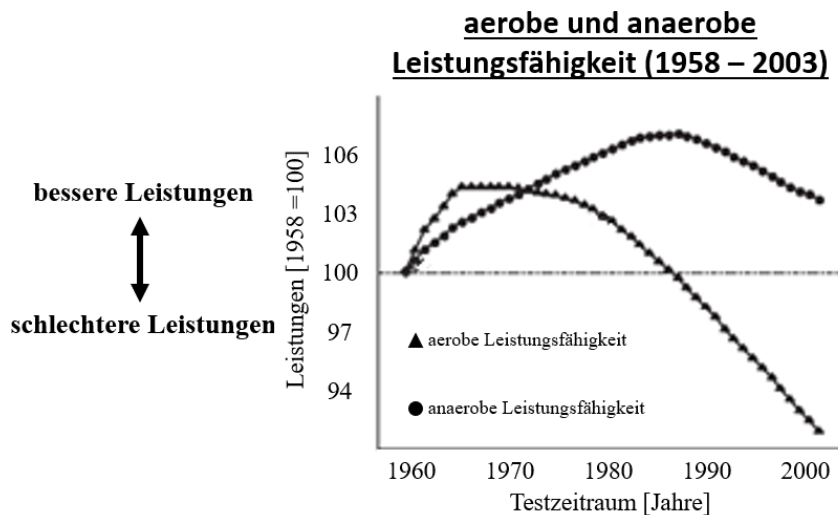


Abbildung 3: Trends der aeroben (schwarz ausgefüllte Dreiecke) und anaeroben (schwarz ausgefüllte Kreise) Leistungsfähigkeit zwischen 1958–2002. Quelle: Tomkinson (2007).

Darüber hinaus existieren Studien, die Trends hinsichtlich der Leistungsfähigkeit im Gleichgewicht und der Beweglichkeit analysierten. Im ersten Fall, untersuchten Matton und Kollegen [20] mittels Einbeinstand-Test die Gleichgewichtsleistung von Kindern und Jugendlichen. Dabei verglichen sie die Resultate von Kindern und Jugendlichen (Altersspanne: 12–17 Jahren) aus 1979/1980 mit denen aus 2005/2006. Im Ergebnis waren die Werte aus 2005/2006 gegenüber denen aus 1979/1980 schlechter ausgeprägt (d. h. häufigeres [+9 bis +15 %] Absetzen des Spielbeins und damit mehr Bodenkontakte) (Abbildung 4).

Einen ähnlichen Trend fanden Runhaar und Kollegen [12] bezogen auf die Beweglichkeit von Kindern und Jugendlichen (Altersspanne: 9–12 Jahre). Ihre Studie offenbarte, dass die Leistungen im Sit-and-Reach-Test aus dem Jahr 2006 signifikant schlechter waren (d. h. geringere [0 bis -3,2 %] Reichweite in cm) als die Ergebnisse aus dem Jahr 1980 (Abbildung 5).

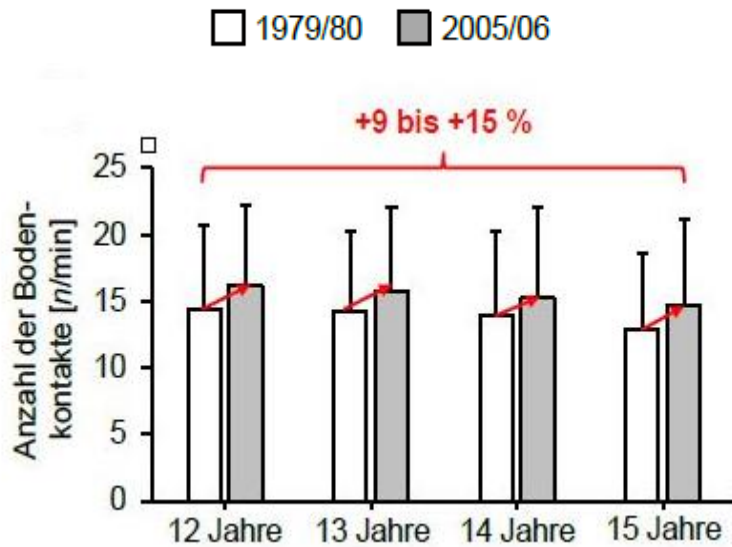


Abbildung 4: Anzahl der Bodenkontakte [n/min] beim Einbeinstand von Kindern und Jugendlichen aus 1979/1980 gegenüber 2005/2006. Quelle: Matton et al. (2007).

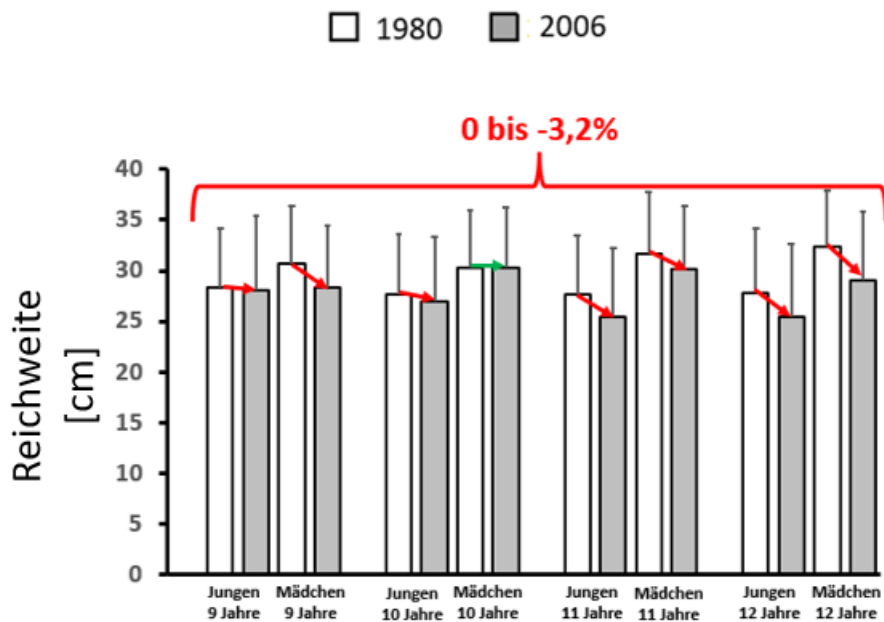


Abbildung 5: Reichweite [cm] im Sit-and Reach Test von Kindern und Jugendlichen aus 1980 gegenüber 2006. Quelle: Runhaar et al. (2010).

## 2.2 Erfassung und Bewertung der motorischen Hauptbeanspruchungsformen im Kindes- und Jugendalter

### 2.2.1 Gleichgewichtstests

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Begriffe Gleichgewicht und Gleichgewichtsfähigkeit definiert. Im Anschluss werden Tests zur Erfassung unterschiedlicher Gleichgewichtsformen vorgestellt. Der Begriff Gleichgewicht spielt in vielen Bereichen (z. B. körperliches, chemisches oder soziales Gleichgewicht) eine wichtige Rolle. Im Hinblick auf die vorliegende Arbeit soll ein Blick auf das körperliche Gleichgewicht und vor allem auf die Gleichgewichtsfähigkeit des Menschen in Bezug auf Bewegung und Sport vorgenommen werden. Jedoch gibt es häufig unterschiedlichste Definitionen und Ansätze, wie man Gleichgewicht bzw. Gleichgewichtsfähigkeit definieren und unterteilen kann. Im Folgenden soll eine allgemeingültige Definition des körperlichen Gleichgewichts erfolgen, um danach expliziter auf die Gleichgewichtsfähigkeit eingehen zu können.

Aus mechanischer Sicht ist ein Objekt im Gleichgewicht, wenn die resultierenden Kräfte oder Momente, die darauf einwirken, gleich Null sind [21, 22] (1. Newtonsches Gesetz). Damit ein Objekt im Gleichgewicht sein kann, sind Kenntnisse über seinen Massenschwerpunkt und der Standfläche auf dem es steht, notwendig. Fällt die Schwerkraftlinie in die Standfläche, dann ist das Objekt im Gleichgewicht (Abbildung 6). Auf den Menschen bezogen bedeutet das, wenn der Körperschwerpunkt außerhalb Standfläche liegt bzw. die Schwerkraftlinie die Standfläche verlässt, dann verliert der Mensch das Gleichgewicht. Beim beidbeinigen Stehen liegt der Körperschwerpunkt über bzw. die Schwerkraftlinie mittig

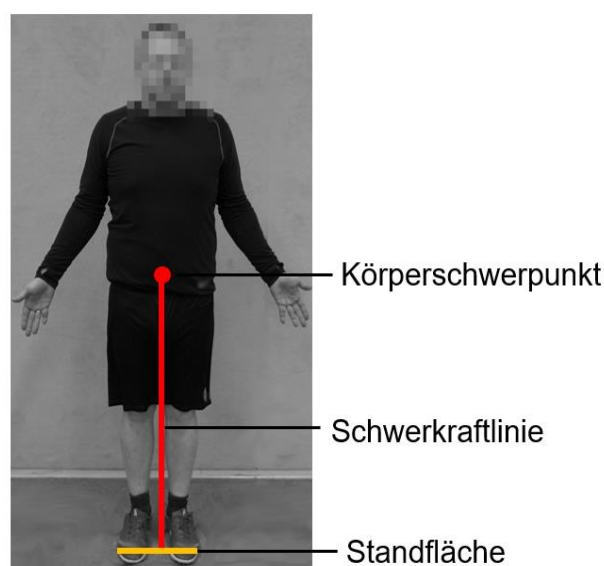


Abbildung 6: Die Schwerkraftlinie ist eine vertikale Linie vom Körperschwerpunkt eines Menschen zur Fläche, auf der er steht.

auf unserer Standfläche (zwischen den Füßen). Der Körper ist im Gleichgewicht. Der Mensch kann sich im Gegensatz zum Objekt bewegen und aktiv mit seiner Umwelt interagieren. Dies geschieht mithilfe von Muskelkontraktionen zumeist in dynamischen Situationen. In diesen dynamischen Situationen ist der Massenschwerpunkt/ die Schwerkraftlinie ständig in Bewegung. Hinzu kommt, dass sich die Stützfläche in Fortbewegungssituationen permanent ändert. Zusätzlich kommen im Alltag oder Sport Störfaktoren hinzu. Diese Störfaktoren können sowohl selbst- (z. B. beim Greifen nach einem Gegenstand) als auch fremdverursacht (z. B. durch Gegnereinwirkung) sein. Das Ziel des Menschen ist es, das Gleichgewicht sowohl in der Bewegung als auch in statischen Situationen aufrecht zu erhalten bzw. schnellstmöglich wiederherzustellen.

Eine Strukturierung des Gleichgewichts nahmen Shumway-Cook und Woollacott [23] vor. Die Autorinnen unterscheiden zwischen drei Gleichgewichtsformen. Die erste Form meint das stationäre bzw. kontinuierliche Gleichgewicht während des Stehens (statisch) und des Gehens (dynamisch), ohne störende Einflüsse. Die zweite Form beschreibt das reaktive Gleichgewicht, das die Fähigkeit meint, das Gleichgewicht nach unerwarteten Situationen (z. B. Stolpern, Ausrutschen, Gegnereinfluss) wieder herzustellen. Die dritte Form ist das proaktive Gleichgewicht, das die Fähigkeit beschreibt, auf destabilisierende Faktoren im Vorfeld, mit Hilfe von Muskelkontraktionen, Körperhaltungen oder Richtungswechsel zu agieren. Diese klassische Unterteilung hilft dabei, verschiedene Gleichgewichtsformen zu spezifizieren. Jedoch kann man sie nicht trennscharf unterteilen. Sowohl das proaktive als auch das reaktive Gleichgewicht hat statische und dynamische Anteile. Beim reaktiven Gleichgewicht gibt es eine dynamische Phase nach der Destabilisierung und beim proaktiven Gleichgewicht findet im Vorfeld eine Dynamik statt, um den Körper im Gleichgewicht zu halten. Der YBT ist ein Test, der das proaktive Gleichgewicht testet, der zudem viele dynamische Bewegungen benötigt, um das Gleichgewicht zu halten. Deshalb wird im weiteren Verlauf, in den Studien I–V und in der gängigen Literatur oft von einem dynamischen Gleichgewichtstest oder von der dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit gesprochen.

Im weiteren Verlauf sollen nun verschiedene Tests für die drei Gleichgewichtsformen (statisch/dynamisch, reaktiv, proaktiv) vorgestellt werden. Wie zuvor beschrieben, wurde das stationäre bzw. kontinuierliche Gleichgewicht in die Bereiche „statisch“ und „dynamisch“ unterteilt. Bei statischen Gleichgewichtstests versucht die Person ihr Gleichgewicht in einer bestimmten Position zu halten, ohne eine Form der Fortbewegung. Ein weit verbreiteter Test, um das statische Gleichgewicht zu testen, ist der „Einbeinstand“. Der Einbeinstand kann sowohl unter erleichterten Bedingungen (z. B. mit geöffneten Augen), als auch unter erschwerten Bedingungen (z. B. mit geschlossenen Augen) durchgeführt werden. Im Folgenden soll der Einbeinstand mit geschlossenen Augen vorgestellt werden. Beim Einbeinstand wird die Versuchsperson aufgefordert, mit dem bevorzugten Bein, ohne Schuhe, den Einbeinstand einzunehmen (Abbildung 7). Dabei steht die Testperson vor einer Wand (Abstand: ca. 1,5 m)



Abbildung 7: Test „Einbeinstand“

und das Standbein ist leicht gebeugt. Das Schwungbein (oder auch Spielbein genannt) ist im Hüft- und im Kniegelenk um  $90^\circ$  gebeugt. Beide Hände werden in die Hüfte gestützt. Nach Einnahme dieser Position schließt die Versuchsperson die Augen und die Zeitmessung beginnt. Die Testperson wird instruiert, so lange wie möglich auf einem Bein zu stehen (max. 60 Sekunden). Die Zeitmessung wird beendet, wenn die Testperson a) die Augen öffnet, b) das Standbein versetzt, c) das Spielbein den Boden berührt oder d) die Hände sich von der Hüfte lösen. Die Zeit (in Sekunden) wird gemessen, wobei eine lange/kurze Standdauer ein hohes/niedriges Gleichgewichtsvermögen bedeutet. Der Einbeinstand kann auch unter anderen Kriterien durchgeführt werden. Im Kap. 2.1.2 führten Matton und Kollegen [20] den Einbeinstand unter ähnlichen Bedingungen durch. Jedoch war die Anzahl der Bodenkontakte,

die das Spielbein hatte, ausschlaggebend für die Leistungsbeurteilung. Hierbei bedeuteten wenige/viele Bodenkontakte eine hohe/niedrige statische Gleichgewichtsfähigkeit.

Bei dynamischen Gleichgewichtstests befindet sich die Testperson in der Fortbewegung und versucht dabei ihr Gleichgewicht zu halten. Ein weit verbreiteter Test, ist das „Balancieren rückwärts“ [24]. Im Konkreten wird die Testperson aufgefordert, über drei unterschiedlich breite (6 cm, 4,5 cm, 3 cm), jeweils 3-m lange Balken, rückwärts zu balancieren (Abbildung 8). Die Durchführung erfolgt mit Schuhen und beginnt am Startbrett. Jeder Schritt auf dem Balken wird mit einem Punkt (max. 8 Punkte pro Balkendicke) bewertet. Sollte die Testperson den Balken verlassen und mit einem Fuß den Boden berühren, wird die bis dahin erreichte Punktzahl notiert. Es werden zwei Wertungsversuche pro Balkendicke absolviert, so dass maximal 48 Punkte erzielt werden können. Eine große/geringe Punktzahl bedeutet somit eine hohe/niedrige dynamische Gleichgewichtsfähigkeit.



Abbildung 8: Test „Balancieren rückwärts“

Bei reaktiven Gleichgewichtstests muss die Testperson auf einen Reiz/eine Situation reagieren, um ihr Gleichgewicht beizubehalten oder wiederherzustellen. Eine Möglichkeit, um das reaktive Gleichgewicht zu testen, ist der „Push-and-Release“ Test. Hierbei steht die Testperson auf beiden Füßen und lehnt sich so weit nach hinten, bis sich das Lot der Schulterblätter hinter den Fersen befindet (Abbildung 9). Die Testleiterin/ der Testleiter stützt die Testperson, indem sie/er mit beiden Händen gegen den Rücken der Testperson drückt. Diese Unterstützung wird dann gelöst und die Testperson muss versuchen, ihr Gleichgewicht möglichst schnell wieder herzustellen. Die Auswertung erfolgt wie in der Studie von Valkovic und Kollegen [25] mit Hilfe folgender Skala:

- 0 Punkte: Kompensation mit nur einem Ausgleichschritt, ohne Hilfestellung.
- 1 Punkt: Durchführung von 2 bis 3 Ausgleichschritten, ohne Hilfestellung.

- 2 Punkte: Durchführung von 4 oder mehr Ausgleichschritten, ohne Hilfestellung.
- 3 Punkte: mehrere Ausgleichschritte mit Hilfestellung zur Vermeidung eines Sturzes.
- 4 Punkte: ein sofortiger Sturz ohne kompensatorische Ausgleichschritte, der nur durch Hilfestellung verhindert werden kann.

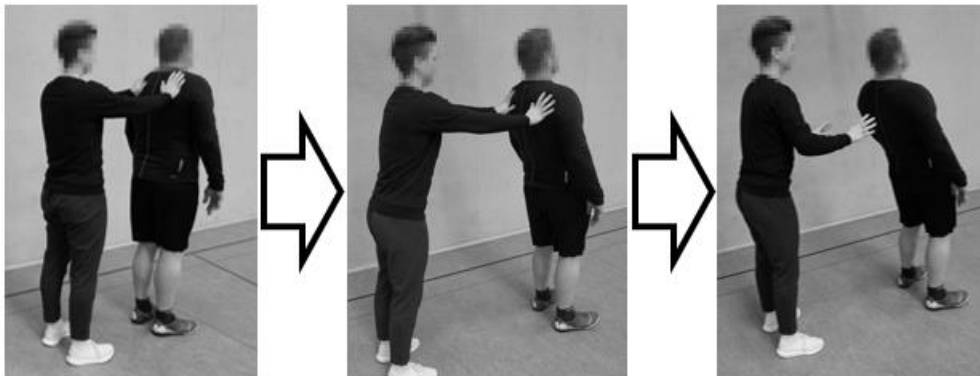


Abbildung 9: Test „Push-and-Release“

Dabei weist ein großer/geringer Wert auf eine geringe/hohe reaktive Gleichgewichtsfähigkeit hin. Der Testleiter/die Testleiterin muss darauf achten, dass die Testperson im Notfall aufgefangen werden kann, damit keine Verletzungen entstehen.

Bei proaktiven Gleichgewichtstests soll die Testperson instabile Situationen antizipieren und die Muskulatur zu ihrer Bewältigung entsprechend aktivieren. Ein etablierter Test, um das proaktive Gleichgewicht zu testen, ist der YBT-LQ, der im Kapitel 4.3.2 ausführlich beschrieben wird.



### 2.2.2 Beweglichkeitstests

Im folgenden Kapitel wird die Beweglichkeit des menschlichen Bewegungsapparats definiert. Anschließend werden verschiedene Beweglichkeitstests vorgestellt. Der Begriff Beweglichkeit ist sehr vielseitig. Oft spricht man auch von Mobilität, Gelenkigkeit oder Dehnfähigkeit. Alle Begriffe meinen in erste Linie die Fähigkeit einer Person, eine möglichst hohe Bewegungsamplitude im Gelenk zu erzeugen. Eine höhere Reichweite steht dabei für eine höhere Beweglichkeit. Aber man muss noch weitere Einteilungen treffen, um die Beweglichkeit einer Person genauer definieren und messen zu können. Klee und Wiemann [26] unterteilen die Beweglichkeit in eine „enge“ und „weite“ Definition. Dabei beschreibt die Beweglichkeit im engeren Sinn die Fähigkeit, Körper- und Gliedmaßen mit derjenigen Amplitude auszuführen, die vom passiven Bewegungsapparat (Knochen, Gelenke, Bänder) und der Dehnfähigkeit des aktiven Bewegungsapparats (Muskeln, Sehnen, Faszien) zugelassen werden. Die Beweglichkeit im weiteren Sinn berücksichtigt zusätzlich Faktoren wie Reaktionsfähigkeit und psychomotorische Anpassungsprozesse. Im weiteren Verlauf wird die Beweglichkeit im engeren Sinne genauer betrachtet, da sie für die vorliegende Arbeit besonders relevant ist. Klee und Wiemann [26] unterteilen die Beweglichkeit in folgende Bereiche:

- allgemeine und spezielle Beweglichkeit,
- aktive und passive Beweglichkeit sowie
- dynamische und statische Beweglichkeit.

Die „allgemeine Beweglichkeit“ bezieht sich u. a. auf das Schulter- und Hüftgelenk, die die wichtigsten Gelenksysteme unseres Körpers darstellen. Er wird aus Sicht der Autoren nur als ein relativer Maßstab angesehen. Hingegen beschreibt die „spezielle Beweglichkeit“ eine sportartspezifische, überdurchschnittliche Beweglichkeit. Als Beispiel nennen Klee und Wiemann [26] die Hüftbeugefähigkeit bei einer Hürdenläuferin/einem Hürdenläufer oder das „Ein- und Auskugeln“ des Schultergelenks bei Leistungsturnerinnen und -turnern. Die „aktive Beweglichkeit“ beschreibt hingegen das Bewegungsausmaß, das nur mit der eigenen Muskelkraft (Kontraktion) erzielt wird. Das bedeutet beispielsweise, wie weit eine Person ihren Arm ausschließlich mit Hilfe von Muskelkontraktionen (d. h. ohne Hilfsmittel) nach hinten strecken kann. Bei der „passiven Beweglichkeit“ werden unterstützende äußere Kräfte (z. B. Partnerin/ Partner, Hilfsmittel) eingesetzt, um die Bewegungsamplitude zu erweitern. Das bedeutet beispielsweise, wie weit eine Person ihren Arm, mit Hilfe einer Partnerin/eines Partners oder eines Gegenstandes (z. B. eine Wand), nach hinten strecken kann. Dabei wird der Arm von einer/ einem Partnerin/ Partner oder einem Gegenstand fixiert, damit sich die Person gegen diese Fixation rotieren kann, um eine größere Amplitude im Schultergelenk zu erzielen.

Hinzu kommt noch die „statische Beweglichkeit“, die die Fähigkeit beschreibt, eine Dehnposition über mehrere Sekunden zu halten, wobei bei der „dynamischen Beweglichkeit“ während der Dehnposition schwungvolle Bewegungen ausgeführt werden. Im Alltag finden diese Beweglichkeitsformen in unterschiedlichsten Aktivitäten (z.B. beim Ziehen, Heben oder Drücken von Gegenständen, Schwung- und Ausholbewegungen, usw.) statt. Zudem werden die zuletzt beschriebenen Arten ausschließlich als Mischformen, wie aktiv-statisch, aktiv-dynamisch, passiv-statisch oder passiv-dynamisch umgesetzt.

Im Folgenden werden Beweglichkeitstests vorgestellt, welche die Beweglichkeit im „engeren Sinne“ erfassen und aktiv-statisch ausgeführt werden. Beim Sit-and-Reach Test sitzt die Testperson ohne Schuhe auf dem Boden (Abbildung 10). Der Rücken ist gerade und das Hüftgelenk ist in einem 90° Winkel gebeugt. Die Beine sind in den Kniegelenken durchgestreckt und die Füße werden aufrecht an eine Kiste gelehnt. Nun streckt die Testperson mit geradem Rücken die Arme nach vorn. In dieser Anfangsposition wird der Handabstand notiert und als Nullpunkt gesetzt. Als nächstes wird die Testperson aufgefordert, das Hüftgelenk zu beugen und so weit wie möglich nach vorne zu greifen. Dabei wird die Reichweite vom Nullpunkt bis zur erreichten Weite gemessen und auf 0,1 Zentimeter genau notiert. Ein Versuch wird abgebrochen oder wiederholt, wenn a) eine ruckartige Übungsausführung stattfindet, b) die Testperson Schwung holt, c) die Streckung der Knie aufgelöst oder d) die maximale Position weniger als zwei Sekunden gehalten wird. Der Test untersucht die Beweglichkeitsleistung im Hüftgelenk und ein großer/geringer Wert zeigt eine hohe/niedrige Leistung an.



Abbildung 10: Sit-and-Reach Test

Beim Stand-and-Reach-Test [27] steht die Person ohne Schuhe auf einem Kasten oder einer Bank (Abbildung 11). An dem Kasten bzw. an der Bank ist eine Zentimeterskala befestigt. Die Fußsohle der Testperson fungiert als Nulllinie. Die Testperson wird aufgefordert mit gestreckten Knien das Hüftgelenk zu beugen und mit beiden Armen parallel, so weit wie möglich, nach unten zu greifen. Der Versuch wird abgebrochen oder wiederholt, wenn a) eine

ruckartige Übungsausführung stattfindet, b) die Testperson Schwung holt, c) die Streckung der Knie auflöst, d) die maximale Position weniger als zwei Sekunden gehalten wird oder e) die Testperson nur den oberen Rücken rund macht und nicht die komplette Beweglichkeit im unteren Rückenbereich ausnutzt. Der erreichte Wert wird am tiefsten Punkt der ausgestreckten Finger auf 0,1 Zentimeter genau notiert. Dabei zeigt ein großer/geringer Wert eine



Abbildung 11: Stand-and-Reach Test

hohe/niedrige Leistung an.

Ein Test, um die Beweglichkeit (Mobilität und Stabilität) des Schulterapparats zu untersuchen, ist der YBT-UQ, der im Kapitel 4.3.3. ausführlich beschrieben wird.

### 3 Untersuchungsmethodologische Konsequenzen

Im folgenden Kapitel wird das Forschungsvorhaben beschrieben und legitimiert. Bei erwachsenen Sportlerinnen und Sportlern ist der YBT-LQ und der YBT-UQ in vielen Sportarten weit verbreitet. Dabei ist der YBT ein feldbasierter Test [28, 29], der auf zwei Arten durchgeführt werden kann. Bei der Anwendung mit den unteren Extremitäten (YBT-LQ), wird das dynamische Gleichgewicht bestimmt [30]. Bei der Durchführung mit den oberen Extremitäten (YBT-UQ), wird die Beweglichkeit (Mobilität/Stabilität) im Schultergelenk erfasst [31]. Beide Testverfahren wurden in bisherigen Studien häufig verwendet, um Einflussfaktoren wie Alter [32, 33], Geschlecht [33, 34], Anthropometrie [35], Seitendominanz [31, 36], Verletzungsrisiken [37, 38] sowie Leistungsunterschiede in verschiedenen Kohorten [30, 39-41] zu untersuchen. Der Großteil der Studien zum YBT wurde mit Erwachsenen durchgeführt, so dass Ergebnisse für Kinder und Jugendliche weitgehend fehlen. Ob der YBT für Heranwachsende hinsichtlich einer validen und reliablen Durchführung geeignet ist und welche Leistungen Kinder und Jugendliche in verschiedenen Altersklassen und unter Berücksichtigung des Geschlechts erzielen, wird daher in der vorliegenden Arbeit untersucht.

#### 3.1 Herleitung der Forschungshypothese für die Validierungsstudie

Beginnend mit der Validität des YBT-LQ, führten Butler und Kollegen [30] Vergleichsstudien durch, indem sie 38 männliche Highschool- (mittleres Alter:  $15,6 \pm 1,0$  Jahre), 37 College- (mittleres Alter:  $18,8 \pm 1,2$  Jahre), sowie 44 Profifußballer (mittleres Alter:  $26,2 \pm 4,0$  Jahre) untersuchten und herausfanden, dass die die jüngeren Highschool-Fußballer geringere Reichweiten im YBT-LQ erzielten, als die beiden älteren Gruppen. In Bezug auf den YBT-UQ verglichen Bullock und Kollegen [40] 70 Highschool- (43 Männer, mittleres Alter:  $17,0 \pm 1,1$  Jahre; 27 Frauen, mittleres Alter:  $16,7 \pm 0,7$  Jahre) mit 70 College-Schwimmerinnen und Schwimmern (34 Männer, mittleres Alter:  $20,8 \pm 1,2$  Jahre; 36 Frauen, Alter:  $20,5 \pm 1,2$  Jahre). Auch in dieser Studie schnitten die älteren College-Schwimmerinnen und -schwimmer besser ab, als die jüngeren Highschool-Schwimmerinnen und -schwimmer. Ähnliche Erkenntnisse fanden Krysak und Kollegen [41] bei einem Vergleich von 53 Middleschool- (mittleres Alter:  $12,2 \pm 2,4$  Jahre), 129 Highschool- (mittleres Alter:  $16,0 \pm 1,3$  Jahre), 207 College- (mittleres Alter:  $19,6 \pm 1,6$  Jahre) und 29 Profi-Golfspielern (mittleres Alter:  $31,8 \pm 11,8$  Jahre) heraus. So erzielten die älteren Profi-Golfspieler höhere Reichweiten beim YBT-UQ als die anderen drei jüngeren Gruppen. Die besseren Ergebnisse aus den beschriebenen Studien scheinen somit auf dem höheren Leistungsniveau und der längeren Erfahrungen der Athleten zu basieren. Jedoch könnte auch das Alter die berichteten Leistungsunterschiede beeinflusst haben. Zudem

fehlen in den vorgestellten Studien Angaben zur Diskriminanzvalidität. Dies meint, ob die Ergebnisse der Tests (YBT-LQ & YBT-UQ) zwischen guten und weniger guten Sportlerinnen und Sportlern oder trainierten und untrainierten Kindern und Jugendlichen unterscheidet. Somit bestand das erste Ziel dieser Arbeit darin, die diskriminante Validität des YBT-LQ und des YBT-UQ zu prüfen.

Daher wurde für die Studie I folgende Hypothese aufgestellt:

- Der YBT-LQ und der YBT-UQ weisen eine Diskriminanzvalidität auf, wobei trainierte gegenüber untrainierten Kindern und Jugendlichen mit gleicher Alters- und Geschlechtsverteilung bessere Ergebnisse zeigen.

### 3.2 Herleitung der Forschungshypothese für die Reliabilitätsstudien

Als zweites sollte die Reliabilität des YBT im Kindes- und Jugendalter geprüft werden. Die Wiederholbarkeit spielt bei wissenschaftlichen Testverfahren eine bedeutsame Rolle und soll zeigen, ob die Ergebnisse zuverlässig sind. Frühere Studien zum YBT-LQ [42-44] und zum YBT-UQ [31, 45] untersuchten in erster Linie junge Erwachsene. Studien mit Kindern und Jugendlichen existieren nur wenige. Für YBT-LQ untersuchten beispielsweise Faigenbaum und Kollegen [46] 7–12-jährige Schulkinder, Calatyud und Kollegen [47] 11–12-Jährige und Linek und Kollegen [48] 14–17-jährige männliche Fußballspieler. Alle drei Studien zeigten unabhängig der Reichweitenrichtung, Intraclass-Correlation-Coefficients (ICC) zwischen „schlecht“, „mäßig bis gut“ und „ausgezeichnet“. Für den YBT-UQ fehlen Studien mit Kindern und Jugendlichen gänzlich. Festzuhalten bleibt jedoch, dass Gorman und Kollegen [45] sowie Westrick und Kollegen [31] bei Erwachsenen „ausgezeichnete“ Testwiederholungen fanden. Nach dem aktuellen Kenntnisstand gibt es keine Studie, die die Reliabilität des YBT für die unteren sowie für die oberen Extremitäten bei männlichen und weiblichen Kindern und Jugendlichen einschließlich verschiedener Alterskohorten untersuchte. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit lag daher darin, die Test-Retest-Wiederholbarkeit (Reliabilität) des YBT für die unteren sowie für die oberen Extremitäten in verschiedenen Alterskohorten zu prüfen.

Somit wurde für die Studien II und III folgende Hypothese aufgestellt:

- Der YBT-LQ und der YBT-UQ sind zuverlässige Tests (Test-Retest-Reliabilität) zur Erfassung des dynamischen Gleichgewichts und der Schultermobilität/-stabilität bei gesunden Kindern und Jugendlichen.

### 3.3 Herleitung der Forschungshypothesen für die Normwertstudien

Im letzten Schritt sollen Referenzwerte in verschiedenen Altersklassen und unter Berücksichtigung des Geschlechts erstellt werden. Zudem soll geklärt werden, ab wann eine erzielte Leistung als gut oder schlecht eingestuft werden kann. Auf Basis dieser Klassifizierung der Leistungsniveaus können dann zum Beispiel Förderprogramme entwickelt werden, die Defizite ausgleichen oder besondere Talente erkennen und weiterentwickeln lassen. Bisherige Studien für den YBT-LQ [33, 49, 50] und den YBT-UQ [29, 33] erforschten wiederum ausschließlich erwachsene Sportlerinnen und Sportler. Diese Ergebnisse lassen sich jedoch nicht auf Heranwachsende übertragen, da Entwicklungs-, Wachstums- und Reifungsprozesse im Kindes- und Jugendalter noch nicht abgeschlossen sind [51]. Folglich fehlen demnach wichtige Referenzwerte für das Kindes- und Jugendalter für beide Formen des YBT. Daher bestand ein weiteres Ziel dieser Arbeit darin, alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte (Perzentile) für den YBT-LQ und den YBT-UQ bei weiblichen und männlichen Kindern und Jugendlichen aus mehreren Alterskohorten zu bestimmen.

Daher wurde für die Studien IV und V folgende Hypothesen aufgestellt:

- Die Leistungen im YBT-LQ und im YBT-UQ verbessern sich mit zunehmendem Alter.
- Die Leistungen im YBT-LQ sind bei Jungen besser als bei Mädchen.
- Die Leistungen im YBT-UQ unterscheiden sich zwischen Jungen und Mädchen.

## **4 Generelle Methodik**

### 4.1 Stichproben

Alle Kinder und Jugendliche in den Erhebungen (Studie I–V) waren zwischen 10–17 Jahre alt. Die weiblichen und männlichen Teilnehmer waren alle gesund, hatten keinerlei Verletzungen und auch keine neurologischen oder orthopädischen Beeinträchtigungen des Bewegungsapparats. Zudem hatten alle Versuchspersonen keinerlei Vorerfahrung mit der Durchführung des YBT. Die Zustimmung der Versuchspersonen sowie eine schriftliche Einverständniserklärung der Eltern wurde vor Beginn jeder Studie eingeholt. Die Studienprotokolle wurden von der Ethikkommission der Fakultät für Bildungswissenschaften der Universität Duisburg-Essen genehmigt. Detaillierte Informationen zu den Versuchspersonen können der jeweiligen Publikation (Anhang: Studie I–V) entnommen werden.

### 4.2 Studiendesigns

Die Erhebung aller Daten fand in Form von Feldstudien statt. Die Kinder und Jugendlichen wurden vorwiegend in Schulen (Sportunterricht) oder Sportvereinen getestet. Dabei wurde das YBT-Kit in den Sporthallen der Schulen oder in den Schulungsräumen der Vereine aufgebaut. In den Studien I, IV und V wurde eine Einmalerhebung mit Gelegenheitsstichproben [52] durchgeführt. In den Studien II und III erfolgte eine Mehrfacherhebung im Abstand von einer Woche. In Studie I fand ein Extremgruppenvergleich [52] von trainierten und untrainierten Jugendlichen statt. Im Konkreten wurden männliche und weibliche jugendliche Leistungsfußballer, Leistungsschwimmerinnen und -schwimmer mit alters- und geschlechtsangepassten Vergleichsgruppen bestehend aus untrainierten Schülerinnen und Schülern verglichen, um die diskriminante Validität für den YBT-LQ und YBT-UQ zu bestimmen.

### 4.3 Testverfahren

Alle Versuchspersonen erhielten vor der Testung eine standardisierte mündliche Anweisung und eine visuelle Demonstration aller Testverfahren.

#### *4.3.1 Anthropometrische Kennwerte*

Zu Beginn jeder Studie wurden Geschlecht, kalendarisches Alter und Dominanz der oberen und unteren Extremität erfragt. Die Körpergröße wurde ohne Schuhe mit einem Stadiometer (seca 217, Basel, Schweiz) auf 0,5 cm genau bestimmt. Die Körpermasse wurde in leichter Kleidung

und ohne Schuhe mit einer elektronischen Waage (seca 803, Basel, Schweiz) auf 100 g genau gemessen. Der Body-Mass-Index wurde unter Verwendung der Körpermasse, geteilt durch die quadrierte Einheit der Körpergröße ( $\text{kg} / \text{m}^2$ ) berechnet. Die Länge (cm) des rechten und linken Arms wurde mit einem Maßband vom siebten Halswirbel (cervikaler Dornfortsatz C7) bis zur distalen Spitze des Mittelfingers gemessen, wobei sich die Schulter in einer 90°-Abduktionsstellung befand (Abbildung 12A) [53]. Die Länge (cm) des linken und rechten Beins wurde ebenfalls mit einem Maßband vom vorderen oberen Darmbeinstachel (anterior superior iliac spinae) bis zum Knochenvorsprung der zur körpermittelliegenden Fußinnenseite (medial

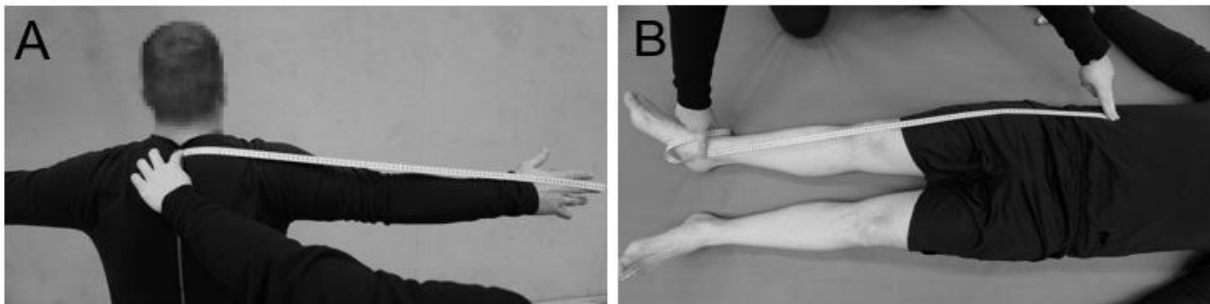


Abbildung 12: Darstellung der (A) Arm- und (B) Beinlängenmessung

malleolus am distalen Ende der Tibia) in rücklings liegender Position gemessen [43] (Abbildung 12B).

#### 4.3.2 Y-Balance Test für die unteren Extremitäten

Die Leistungen des YBT-LQ wurden unter Verwendung des Y-Balance Test-Kits (Functional Movement Systems, Chatham, USA) erhoben (Abbildung 13). Dabei wurde das Test-Kit auf dem Boden positioniert. Das Test-Kit besteht aus einer zentralen Standplattform, an der drei Plastikrohre angebracht sind, die die anteriore (AT), posteromediale (PM) und posterolaterale (PL) Reichweitenrichtungen darstellen (Abbildung 14A). Jedes Rohr ist zu Messzwecken in 1-cm Abschnitte unterteilt und mit einer beweglichen Reichweitenanzeige ausgestattet. Jede Versuchsperson wurde angewiesen, im Einbeinstand (ohne Schuhe) mit dem Spielbein -so weit wie möglich- die Reichweitenanzeige in AT-, PM-, und PL-Richtung vom Körper weg zu schieben. Ausgleichende Arm- und Oberkörperbewegungen waren während der Ausführung des YBT-LQ erlaubt. Jede Testperson wurde angewiesen, drei Übungsversuche, gefolgt von drei Wertungsversuchen, durchzuführen. Nach den Empfehlungen von Plisky et al. [43] begannen die Testpersonen auf dem rechten Bein stehend und mit dem linken Bein die Reichweitenanzeige verschiebend. Im Anschluss erfolgt der Beinwechsel. Die spezifische Testreihenfolge sah folgendermaßen aus:



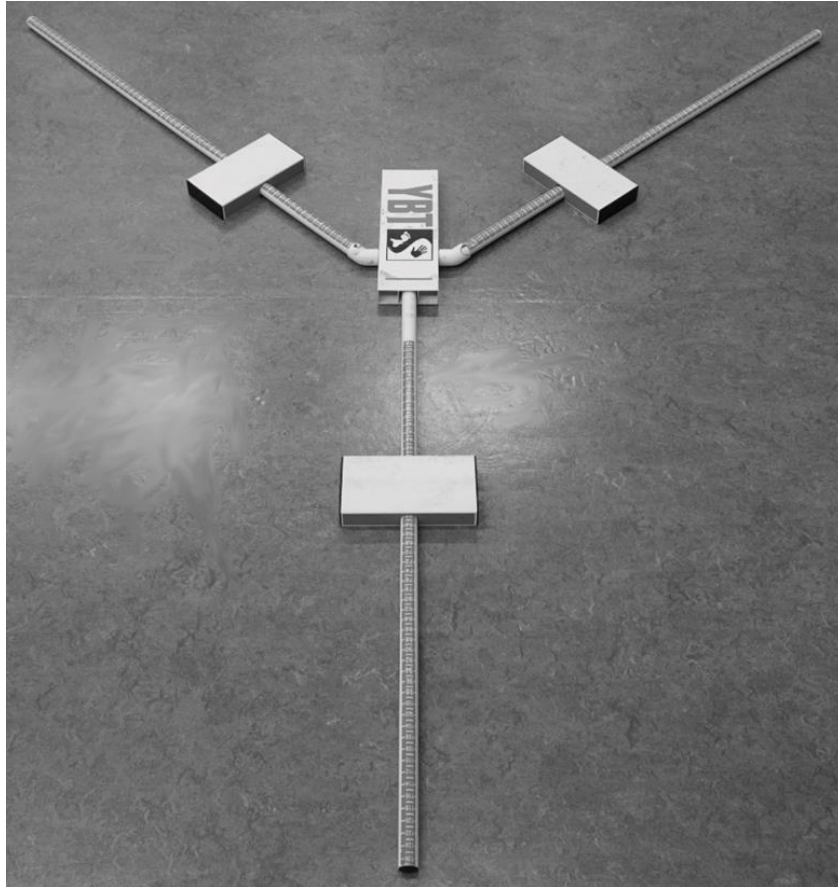


Abbildung 13: Y-Balance-Test-Kit

- 1) rechter Einbeinstand und mit dem linken Bein die Reichweitenanzeige dreimal in AT-Richtung schieben,
- 2) linker Einbeinstand und mit dem rechten Bein die Reichweitenanzeige dreimal in AT-Richtung schieben,
- 3) rechter Einbeinstand und mit dem linken Bein die Reichweitenanzeige dreimal in PM-Richtung schieben,
- 4) linker Einbeinstand und mit dem rechten Bein die Reichweitenanzeige dreimal in PM-Richtung schieben,
- 5) rechter Einbeinstand und mit dem linken Bein die Reichweitenanzeige dreimal in PL-Richtung schieben und
- 6) linker Einbeinstand und mit dem rechten Bein die Reichweitenanzeige dreimal in PL-Richtung schieben.

Ein Versuch ist laut Plisky et al. [53] ungültig, wenn die Versuchsperson a) das Standbein von der Standplattform entfernt, b) während des Versuchs mit dem Spielbein den Boden berührt, c) sich mit dem Spielbein auf der Reichweitenanzeige abstützt oder d) mit dem

Spielbein die Reichweitenanzeige nach vorn stößt. Ungültige Wertungsversuche wurden wiederholt, bis insgesamt drei gültige Versuche erreicht wurden. Die absolute maximale Reichweite (d. h. Abstand von der Mitte der Standplattform bis zur geschobenen Reichweitenanzeige) wurde auf einen Zentimeter genau bestimmt und diente als abhängige Variable für nachfolgende Berechnungen.

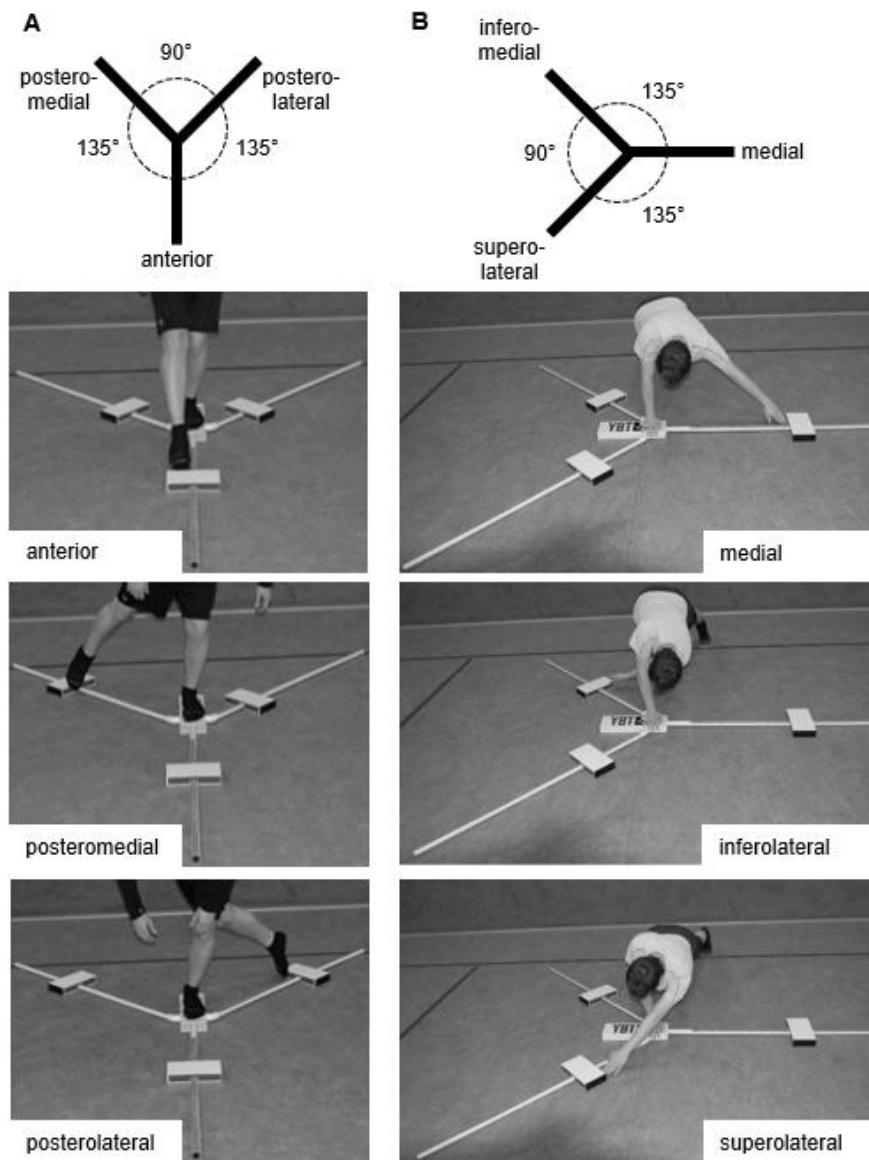


Abbildung 14: Darstellung der Durchführung des YBT-LQ (A) und des YBT-UQ (B)

### 4.3.3 Y-Balance Test für die oberen Extremitäten

Die Leistungen des YBT-UQ wurden ebenfalls unter Verwendung des Y-Balance-Test-Kits (Functional Movement Systems, Chatham, USA) erhoben (Abbildung 13). Dabei wurde das Test-Kit auf dem Boden positioniert. Das Test-Kit besteht aus einer zentralen Plattform, an der drei Plastikrohre angebracht sind, die die mediale (MD), inferolaterale (IL) und superolaterale (SL) Reichweitenrichtung darstellen (Abbildung 14B). Jedes Rohr ist zu Messzwecken in 1-cm Abschnitte unterteilt und mit einer beweglichen Reichweitenanzeige ausgestattet. Jede Versuchsperson wurde angewiesen, im Einarmstütz (Push-up-Position) die Reichweitenanzeige in MD-, IL-, SL-Richtung so weit wie möglich vom Körper weg zu schieben. Ausgleichende Arm- und Oberkörperbewegungen waren während der Ausführung des YBT-UQ erlaubt. Jede Versuchsperson wurde angewiesen drei Übungsversuche, gefolgt von drei Wertungsversuchen, durchzuführen. Nach den Empfehlungen von Plisky et al. [43] begannen die Testpersonen mit dem rechten Arm abstützend und mit dem linken Arm die Reichweitenanzeige verschiebend. Im Anschluss der Wertungsversuche, erfolgte der Armwechsel. Die spezifische Testreihenfolge lautete.

- 1) rechter Einarmstütz und mit dem linken Arm die Reichweitenanzeige hintereinander in MD-, IL- und SL-Richtung schieben.
- 2) linker Einarmstütz und mit dem rechten Arm die Reichweitenanzeige hintereinander in MD-, IL- und SL-Richtung schieben.

Ein Versuch ist laut Plisky et al. [43] ungültig, wenn die Versuchsperson a) zu keinem Zeitpunkt während des Versuchs, die einarmige Liegestützposition beibehält, b) der schiebende Arm keinen Kontakt mit der Reichweitenanzeige aufrechterhält, c) die Reichweitenanzeige zur Unterstützung verwendet wird oder d) die Reichweithand nicht kontrolliert in die Ausgangsposition zurückgebracht wird. Die absolute maximale Reichweite (d. h. Abstand von der Mitte der Standplattform bis zur geschobenen Reichweitenanzeige) wurde auf einen Zentimeter genau bestimmt und diente als abhängige Variable für nachfolgende Berechnungen.

### 4.4 Datenanalyse

Um einen adäquaten intra- (linke versus rechte Körperseite) und interindividuellen (Jungen versus Mädchen bzw. Kinder versus Jugendliche) Leistungsvergleich vornehmen zu können, wurden die absoluten maximalen Reichweitenwerte (in cm) anhand der zuvor ermittelten Bein- bzw. Armlängen (in cm) normalisiert.

Die normalisierte maximale Reichweite, für den YBT-LQ bzw. den YBT-UQ, wurde gemäß der Angaben von Filipa et al. [54] pro Extremität und Reichrichtung wie folgt berechnet:

Gleichung (1):

normalisierte maximale Reichweite (% Bein- bzw. Armlänge) = (absolute maximale Reichweite [cm]) / Bein- bzw. Armlänge [cm])  $\times$  100.

Zudem wurde ein Gesamtwert (engl. Composite Score [CS]) gemäß der Angaben von Filipa et al. [54] pro Extremität folgendermaßen berechnet:

Gleichung (2):

CS (% Beinlänge) = ((AT + PM + PL) / (Beinlänge  $\times$  3))  $\times$  100.

Gleichung (3):

CS (% Armlänge) = ((MD + IL + SL) / (Armlänge  $\times$  3))  $\times$  100.

#### 4.5 Statistische Analyse

In allen Studien (I–V) erfolgte die deskriptive Datenanalyse anhand der Mittelwerte (MW) als Maß der zentralen Tendenz und der Standardabweichungen (SD) als Dispersionsmaß. Inferenzstatistische Analysen zur Prüfung von Unterschieden in Abhängigkeit vom Trainingsstatus (Studie I: trainierte versus untrainierte Personen), dem Alter (Studien IV und V: 10–11-, 12–13-, 14–15-, versus 16–17-Jährige) und dem Geschlecht (Studien IV und V: Jungen versus Mädchen) erfolgten mittels Varianzanalysen. Für anschließende *post-hoc*-Vergleiche (inkl. Bonferroni-Adjustierung) wurde der *t*-Test für unabhängige bzw. abhängige Stichproben verwendet. In beiden Reliabilitätsstudien (Studie II und III) wurde die relative Zuverlässigkeit des YBT mit Hilfe des ICC<sub>3.1</sub> und des 95% Konfidenzintervalls (CI) überprüft. Nach Fleiss [55] wird ICC > 0,75 als "ausgezeichnet", 0,40 < ICC < 0,75 als "mäßig bis gut" und ICC < 0,40 als "schlecht" klassifiziert. Die absolute Zuverlässigkeit wurde unter Verwendung des Standardmessfehlers (SEM) nach Atkinson and Nevill [56] ermittelt. Die Formel für die Berechnung lautet:

Gleichung (4):

$$\text{SEM} = \text{SD aller Versuche} \times \sqrt{(1 - \text{ICC})}$$

Je niedriger der SEM-Wert ist, desto zuverlässiger ist die Messung. Zudem wurde die praktische Bedeutsamkeit durch Berechnung des minimal-detectable-change (MDC<sub>95%</sub>) bestimmt, die erforderlich ist, um klinisch relevante Effekte zwischen wiederholten Messungen

eines Probanden zu identifizieren [57, 58]. Mit anderen Worten, der  $MDC_{95\%}$  liefert Informationen über den Mindestschwellenwert einer Messung, um sicherzustellen, dass die Unterschiede zwischen Test- und Wiederholungstestmessungen real waren und außerhalb des Fehlerbereichs liegen. Die entsprechende Formel lautet wie folgt:

Gleichung (5):

$$MDC_{95\%} = SEM \times 1,96 \times \sqrt{2}$$

In Studie III wurden zudem Bland-Altman-Diagramme [59] erstellt, um das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen den Test-Retest-Werten zu visualisieren. Bland und Altman [59] empfehlen, dass 95 % der Datenpunkte innerhalb des  $MW \pm 1,96$  multipliziert mit der SD liegen sollten (d. h. innerhalb der Übereinstimmungsgrenzen). In Studie I wurde die Effektgröße (Cohen's  $d$ ) berechnet, um klinisch relevante Veränderungen zu identifizieren. Eine Effektgröße wird nach Cohen (1988) folgendermaßen klassifiziert; "klein" ( $0 \leq d \leq 0,49$ ), "mäßig" ( $0,50 \leq d \leq 0,79$ ) und „groß“ ( $d \geq 0,80$ ) [60]. Zudem wurde eine ROC- Kurvenanalyse (engl. Receiver Operator Characteristic) durchgeführt, um zu überprüfen, ob der YBT zwischen trainierten und untrainierten Testpersonen unterscheiden kann. Dabei wurde die Fläche unter der Kurve (engl. area under the curve [AUC]) berechnet. Nach Deyo und Centor [61] entspricht ein AUC-Wert von 0,50 einem „nein“ hinsichtlich Unterscheidungsgültigkeit und ein Wert 1,0 einer „perfekten“ Unterscheidungsgültigkeit. In den Studien IV und V wurde das partielle Eta-Quadrat ( $\eta_p^2$ ) als Effektgröße berechnet. Nach Cohen [60] meint  $0,02 \leq \eta_p^2 \leq 0,12$  kleine Effekte,  $0,13 \leq \eta_p^2 \leq 0,25$  meint mäßig Effekte und  $\eta_p^2 \geq 0,26$  meint große Effekte (Studie IV). Zudem wurden in den Studien IV und V alters- und geschlechtsspezifische Perzentilwerte berechnet. Die erhaltenen Daten wurden tabellarisch (d. h. 5. bis 95. Perzentil) dargestellt. Alle statistischen Analysen wurden unter Verwendung des Statistical Package for Social Sciences (SPSS) Version 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) durchgeführt.

## 5 Hauptergebnisse

5.1 Studie I: Discriminative validity of the lower and upper quarter Y balance test performance: a comparison between healthy trained and untrained youth

### Zielstellung und Hypothese:

Das Ziel der Studie war, die Diskriminanzvalidität mittels Cohen's  $d$  und der Fläche unter der ROC-Kurve für den YBT-LQ (Untersuchung 1) und den YBT-UQ (Untersuchung 2) durch einen Vergleich von gleichaltrig trainierten (Fußball, Schwimmen) mit untrainierten Jugendlichen zu untersuchen. Sowohl für den YBT-LQ als auch für den YBT-UQ wurden bessere Leistungen durch die trainierten gegenüber den untrainierten Personen erwartet. Zudem wurde für beide Tests das Auftreten der diskriminanten Validität angenommen.

### Ergebnisse:

Erwartungskonform erzielten die trainierten im Vergleich zu den untrainierten Jugendlichen, unabhängig vom Reichbein/-arm und von der Reichrichtung, in allen Parametern signifikant bessere Leistungen (YBT-LQ:  $p < 0,001$ ,  $d = 0,86-1,21$ ; YBT-UQ:  $p < 0,001$ ,  $d = 0,88-1,48$ ). Zudem ergab die Analyse der Fläche unter der ROC-Kurve AUC-Werte, die auf eine Unterscheidung zwischen trainierten und untrainierten Personen mit einer Wahrscheinlichkeit von  $\geq 74\%$  (YBT-LQ) bzw.  $\geq 71\%$  (YBT-UQ) hinweisen. Die Befunde verdeutlichen, dass der YBT-LQ wie auch der YBT-UQ geeignete Tests sind, um zwischen trainierten und untrainierten Personen im Jugendalter zu diskriminieren. Dies ermöglicht ihren Einsatz zum Beispiel im Rahmen der Identifizierung von Personen mit hohem gegenüber niedrigem Leistungsniveau hinsichtlich des dynamischen Gleichgewichts (YBT-LQ) bzw. der Schulterbeweglichkeit (YBT-UQ).

Zitation: **Schwartz, G.**, Beurskens, R. & Muehlbauer, T. (2020). Discriminative validity of the lower and upper quarter Y balance test performance: a comparison between healthy trained and untrained youth. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 12: 73, doi: 10.1186/s13102-020-00220-w.

URL: [https://bmcsportsscimedrehabil.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13102-020-00220-](https://bmcsportsscimedrehabil.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13102-020-00220-w)

w

## 5.2 Studie II: Performance and reliability of the Lower Quarter Y Balance Test in healthy adolescents from grade 6 to 11

### Zielstellung und Hypothese:

Das Studienziel war die Untersuchung Test-Retest-Reliabilität des YBT-LQ bei Jugendlichen in den Klassenstufen 6–11 unter Verwendung des Intraklassenkorrelationskoeffizienten ( $ICC_{3,1}$ ) und des Standardmessfehlers (SEM). Zudem wurde die minimale klinische relevante Veränderung ( $MDC_{95\%}$ ) berechnet. Es wurde erwartet, dass der YBT-LQ ein zuverlässiger Test zur Erfassung des dynamischen Gleichgewichts bei gesunden Kindern und Jugendlichen darstellt.

### Ergebnisse:

Unabhängig von der Klassenstufe lagen die  $ICC_{3,1}$ -Werte zwischen 0,40 und 0,96, was auf eine „mäßig bis gute“ bis „ausgezeichnete“ Wiederholbarkeit des YBT-LQ hinweist. Darüber hinaus wurden die höchsten  $ICC_{3,1}$ -Werte (0,83 bis 0,96) für die Gesamtwerte (engl. Composite Scores) pro getestetem Bein erzielt. Zudem unterstreichen die geringen SEM-Werte von 1,77 bis 5,81 % die Test-Retest-Reliabilität. Je nach Klassenstufe und Reichrichtung stellen die MDC-Werte von 4,90 bis 16,10 % das Mindestmaß an Änderungen dar, die erforderlich sind, um klinisch relevante Effekte bei wiederholten Messungen der YBT-LQ-Leistung zu identifizieren. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass der YBT-LQ ein zuverlässiger Test zur Erfassung des dynamischen Gleichgewichts bei Jugendlichen darstellt und somit zur Prüfung von Interventionseffekten eingesetzt werden kann.

Zitation: **Schwartz, G.**, Brueckner, D., Schedler, S., Kiss, R. & Muehlbauer, T. (2019). Performance and reliability of the Lower Quarter Y Balance Test in healthy adolescents from grade 6 to 11. *Gait & Posture*, 67, 142-146, doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.10.011.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966636218310464>

### 5.3 Studie III: Reliability and minimal detectable change of the Upper Quarter Y-Balance Test in healthy adolescents aged 12 to 17 years

#### Zielstellung und Hypothese:

Die Untersuchung zielte darauf ab, die Test-Retest-Reliabilität des YBT-UQ bei Jugendlichen zwischen 12 und 17 Jahren mittels Intraklassenkorrelationskoeffizienten ( $ICC_{3,1}$ ) und des Standardmessfehlers (SEM) zu untersuchen. Außerdem wurde die minimale klinisch relevante Veränderung ( $MDC_{95\%}$ ) bestimmt. Es wurde angenommen, dass der YBT-UQ ein zuverlässiger Test zur Erfassung der Schulterbeweglichkeit (Stabilität/Mobilität) bei gesunden Kindern und Jugendlichen ist.

#### Ergebnisse:

Unabhängig vom Alter, dem Reicharm und der Reichrichtung, lagen die  $ICC_{3,1}$ -Werte zwischen 0,47 und 0,97, was auf eine „mäßig bis gute“ bis „ausgezeichnete“ Wiederholbarkeit des YBT-UQ hindeutet. Auch die relativ niedrigen SEM-Werte  $\leq 7,6\%$  weisen auf das Vorhandensein von Test Retest-Reliabilität hin. Je nach Alter und Reichrichtung sind die MDC-Werte von 4,80 bis 21,10 % das Mindestmaß an Änderungen, die erforderlich sind, um klinisch relevante Effekte bei wiederholten Messungen der YBT-UQ-Leistung zu identifizieren. Die Ergebnisse indizieren, dass der YBT-UQ ein reliabler Test zur Erfassung der Schulterstabilität/-mobilität bei gesunden Jugendlichen ist und daher zur Untersuchung der Effekte von Interventionen verwendet werden kann.

Zitation: **Schwartz, G.**, Brueckner, D., Schedler, S., Kiss, R. & Muehlbauer, T. (2019). Reliability and minimal detectable change of the Upper Quarter Y Balance Test in healthy adolescents aged 12 to 17 years. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(6), 927-934.

URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6878871/>



#### 5.4 Studie IV: Lower Quarter Y Balance Test performance: Reference values for healthy youth aged 10 to 17 years

##### Zielstellung und Hypothese:

Die Studie zielte darauf ab, die Leistungen im YBT-LQ bei gesunden Kindern und Jugendlichen in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht zu untersuchen sowie Referenzwerte zu bestimmen. Es wurde erwartet, dass sich die YBT-LQ-Leistungen mit dem Alter verbessern und das geschlechtsspezifische Unterschiede zugunsten der Jungen auftreten.

##### Ergebnisse:

Bei den Jungen ergab die Analyse signifikant bessere YBT-LQ-Leistungen ( $p \leq 0,012$ ; Bereich:  $0,28 \leq \eta_p^2 \leq 0,70$ ) für die älteren (16–17 Jahre) gegenüber den jüngeren (14–15 Jahre, 12–13 Jahre, 10–11 Jahre) Personen. Bei den Mädchen zeigten sich hingegen signifikant bessere Leistungen ( $p \leq 0,020$ ; Bereich:  $0,34 \leq \eta_p^2 \leq 0,61$ ) für die jüngeren (10–11 Jahren) im Vergleich zu den älteren (12–13 Jahre) Personen. Im Geschlechtervergleich ( $p \leq 0,017$ ) übertrafen die 16- bis 17-jährigen Jungen die gleichaltrigen Mädchen. Unabhängig vom Geschlecht ergaben sich gekrümmte Perzentilkurven, was auf eine Leistungsbeeinflussung durch Wachstums-, Reifungs- und Entwicklungsprozesse hindeutet. Die Ergebnisse können genutzt werden, um die individuelle YBT-LQ-Leistung bei gesunden Kindern und Jugendlichen in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht zu klassifizieren.

Zitation: **Schwartz, G.**, Brueckner, D., Beurskens, R. & Muehlbauer, T. (2020). Lower Quarter Y Balance Test performance: reference values for healthy youth aged 10 to 17 years. *Gait & Posture*, 80, 148-154, doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.05.041.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966636220301971>

## 5.5 Studie V: Upper Quarter Y Balance Test performance: Normative values for healthy youth aged 10 to 17 years

### Zielstellung und Hypothese:

Die Studie wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Leistungen im YBT-UQ bei gesunden Kindern und Jugendlichen differenziert nach Alter und Geschlecht zu erfassen sowie Referenzwerte zu berechnen. Die Annahme war, dass sich die YBT-UQ-Leistungen mit dem Alter verbessern und dass geschlechtsspezifische Unterschiede auftreten.

### Ergebnisse:

Bei den Jungen ergaben sich u. a. signifikant bessere YBT-UQ-Leistungen für die 14- bis 15-Jährigen ( $p \leq 0,001$ ; Bereich:  $0,05 \leq \eta_p^2 \leq 0,14$ ) im Vergleich zu den 12- bis 13-Jährigen sowie 16- bis 17-Jährigen. Bei den Mädchen zeigten sich für die jüngste Altersgruppe (10–11 Jahre) signifikant bessere Leistungen als bei den 12- bis 13-Jährigen (linker Arm:  $p = 0,043$ , rechter Arm:  $p = 0,005$ ), den 14- bis 15-Jährigen (linker / rechter Arm:  $p < 0,001$ ) und den 16- bis 17-Jährigen (linker / rechter Arm:  $p < 0,001$ ). Die Geschlechterunterschiede fielen uneinheitlich zugunsten der Mädchen (12- bis 13- Jährige) wie auch der Jungen (14- bis 15- und 16- bis 17-Jährige) aus. Zudem ergaben sich für beide Geschlechter gekrümmte Perzentilkurven, die besonders markant bei den Jungen ausfielen. Die Ergebnisse können zur individuellen alters- und geschlechterspezifischen Klassifikationen der YBT-UQ Leistung von gesunden Kindern und Jugendlichen verwendet werden.

Zitation: **Schwartz, G.**, Bauer, J. & Muehlbauer, T. (2021). Upper Quarter Y Balance test performance: Normative values for healthy youth aged 10 to 17 years. *PLoS One*, 16(6), e0253144 doi: 10.1371/journal.pone.0253144.

URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0253144>

## 6 Generelle Diskussion

### 6.1 Bestimmung und Einschätzung der Diskriminanzvalidität

In Studie I wurde erstmalig die diskriminante Validität des YBT-LQ und des YBT-UQ durch den Vergleich von trainierten mit untrainierten Jugendlichen untersucht. Die Ergebnisse bestätigten die Annahme, dass sich die Leistungen zwischen den trainierten (YBT-LQ: Leistungsfußballer; YBT-UQ: Leistungsschwimmerinnen und -schwimmer) und untrainierten Personen mit gleicher Alters- und Geschlechtsverteilung statistisch bedeutsam unterschieden. Dabei erzielten die trainierten Jugendlichen erwartungsgemäß signifikant bessere Leistungen (sowohl absolute als auch relative Reichweiten) als die untrainierten Jugendlichen.

Die eigenen Ergebnisse entsprechen den Befunden von Studien [30, 39-41, 62], die Athletinnen und Athleten (u. a. Fußball, Basketball, Schwimmen, Golfen, American Football) mit unterschiedlichem Wettkampfniveau (z. B. Middle-School vs. High-School vs. College) verglichen. In den zuvor genannten Studien erzielten die Sportlerinnen und Sportler bessere Ergebnisse, die ein höheres Wettkampfniveau hatten. Neben dem Wettkampfniveau unterschieden sich die Athletinnen und Athleten aber auch hinsichtlich ihres Alters. D. h. es wurden Erwachsene (College) mit Jugendlichen (Middle-School) verglichen. Somit blieb unklar, auf welchen der beiden Faktoren (Wettkampfniveau und/oder Alter) die diskriminante Validität schlussendlich zurückgeführt werden konnte. Diesen Nachteil berücksichtigend, wurde in Studie I der Vergleich innerhalb einer Alterskohorte durchgeführt. Daher sind die in der eigenen Studie beobachteten besseren Leistungen nicht das Resultat von Altersdifferenzen, sondern lassen sich höchstwahrscheinlich auf Unterschiede im Trainingsstatus zurückführen.

Aus der Bestätigung der Hypothese, dass sich sowohl der YBT-LQ als auch der YBT-UQ zwischen trainierten und untrainierten Jugendlichen unterscheidet und somit ein valider Test zur Erfassung des Gleichgewichts (YBT-LQ) bzw. der Schulterbeweglichkeit (YBT-UQ) ist, ergeben sich folgende Implikationen:

Beide Tests können verwendet werden, um Jugendliche mit einem hohen versus niedrigen Leistungsniveau zu diskriminieren. Basierend auf dieser Feststellung können die jeweiligen Personen dann spezifisch zugeschnittenen Trainingsprogrammen zugeführt werden, wie zum Beispiel einem Programm zur Talentförderung für Personen mit hohem Leistungsniveau bzw. einem Programm zur Bewegungsförderung für Personen mit einem niedrigen Leistungsniveau.

## 6.2 Bestimmung und Klassifikation der Test-Retest-Reliabilität sowie Bestimmung der minimal nachweisbaren Veränderung

Die Studien II und III untersuchten die Test-Retest-Reliabilität des YBT-LQ und des YBT-UQ. In diesem Zusammenhang wurden die im Abstand von einer Woche zweimal erhobenen YBT-Leistungen miteinander verglichen. Die Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass der YBT ein zuverlässiger Test zur Beurteilung des dynamischen Gleichgewichts (YBT-LQ) sowie der Schulterbeweglichkeit (YBT-UQ) bei Kindern und Jugendlichen ist.

In Bezug auf den YBT-LQ (Studie II) waren die ICC-Werte „mäßig bis gut“ bis „ausgezeichnet“ (d. h. 0,40 bis 0,96). Die Ergebnisse der Studie II stimmen demnach mit der Literatur überein [46-48]. Die Studien untersuchten sowohl Schulkinder im Alter zwischen sechs und 13 Jahren als auch jugendliche Fußballspieler im Alter von 15 Jahren und erhielten ebenfalls ICC-Werte zwischen „schlecht“, „mäßig bis gut“ bis „ausgezeichnet“ (d. h. 0,38 bis 0,93). Zudem wurde die praktische Bedeutsamkeit durch die Berechnung des MDC<sub>95%</sub> bestimmt, die erforderlich ist, um klinisch relevante Effekte zwischen wiederholten Messungen einer Versuchsperson zu identifizieren. Dabei lagen die der MDC-Werte zwischen 4,90 % und 16,10 %. Auch diese Werte stimmen annähernd mit denen aus anderen Studien überein. Im Vergleich liegen die Werte der Studie II nahe an den Werten von Linek und Kollegen [48] (7,68 % bis 13,70 %). Die Werte von Calatayud und Kollegen [47] zeigen leicht schlechtere Werte (8,4 % bis 34,2 %), was auf die jüngere Alterskohorte (Grundschul Kinder) zurückgeführt werden könnte. Kinder weisen möglicherweise schlechtere Fähigkeiten auf, den YBT-LQ zuverlässig durchzuführen und zeigen somit größere Schwankungen in der Wiederholbarkeit auf. Die MDC-Werte aus Studie II, im Bereich von 4,90 % bis 16,10 %, deuten darauf hin, dass dies die Mindeständerung ist, damit eine interventionsbedingte Änderung als signifikant eingestuft werden kann.

In Bezug auf den YBT-UQ (Studie III) waren die ICC-Werte ebenfalls „mäßig bis gut“ bis „ausgezeichnet“ (d. h. 0,47 bis 0,97). Da keine Studie verfügbar ist, die die Test-Retest-Reliabilität bei gesunden Kindern und Jugendlichen untersuchte, können die vorliegenden Ergebnisse nur mit Befunden aus Studien [31,45] verglichen werden, in denen ältere Kohorten untersucht wurden. Gorman und Kollegen [45] untersuchten sportlich aktive Erwachsene (Altersspanne: 19–47 Jahre) und erhielten „ausgezeichnete“ ICC-Werte zwischen 0,80 und 0,99 hinsichtlich der drei Reichrichtungen. Die Studie von Westrick und Kollegen [31] untersuchte junge Erwachsene im College-Alter (mittleres Alter: ~19 Jahre) und fand ICC-Werte zwischen 0,91 und 0,92, die auf eine „ausgezeichnete“ Test-Retest-Reliabilität hinweisen. Die Ergebnisse der Studie III stimmen hauptsächlich mit den vorherigen Studien überein. Die leicht besseren

Ergebnisse aus den anderen Studien, lassen sich anhand der untersuchten Versuchspersonen erklären. So wurden im Gegensatz zur Studie III (12- bis 17-Jährige) in den beiden anderen Studien ausschließlich Erwachsene untersucht. Man kann somit davon ausgehen, dass Erwachsene zuverlässigere Ergebnisse erzielen als Jugendliche. Die MDC-Werte in Studie III lagen zwischen 4,8 % und 21,1 %. Vergleicht man diese Ergebnisse mit der Studie von Salo und Kollegen [63], so kam die Studie zu ähnlichen Ergebnissen. Salo und Kollegen führten eine geplante Ermüdung bei gesunden Erwachsenen (mittleres Alter:  $26 \pm 3$  Jahre) durch und untersuchten die YBT-UQ Leistungen vor und nach der Ermüdung. Die Autoren berichteten von signifikanten Leistungsminderungen von 2 –18 %, was dem Wertebereich der MDC-Werte aus Studie III entspricht.

Aus der Bestätigung der Hypothesen, dass sowohl der YBT-LQ als auch der YBT-UQ ein zuverlässiger Test zur Erfassung des dynamischen Gleichgewichts (YBT-LQ) bzw. der Schulterbeweglichkeit (YBT-UQ) ist, ergeben sich folgende Implikationen:

Beide Tests können verwendet werden, um Leistungsunterschiede infolge einer Intervention zu identifizieren. Basierend auf diesen Feststellungen können Trainings- oder Ermüdungsprogramme entwickelt, verändert oder angepasst werden, um Leistungen in diesen beiden Tests zu verändern.

### 6.3 Generierung alters- und geschlechtsspezifischer Normwerte

Die Studien IV und V sind die ersten Studien, die im Kindes- und Jugendalter mittels relativ großen Stichproben Leistungen für den YBT-LQ ( $N = 669$ ) und den YBT-UQ ( $N = 665$ ) erfassten. Dabei wurden alters- und geschlechtsspezifische Perzentilwerte berechnet und grafisch dargestellt. In Bezug auf den YBT-LQ lassen sich die wichtigsten Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- (1) Die älteste Gruppe der Jungen (16–17 Jahre) übertraf die Leistungen der jüngeren Gruppen (14–15, 12–13 und 10–11 Jahre).
- (2) Die jüngste (10–11 Jahre) und die älteste (16–17 Jahre) Gruppe der Mädchen erzielte bessere Werte als die beiden mittleren Altersgruppen (12–13 Jahre, 14–15 Jahre).
- (3) In der ältesten Gruppe (16–17 Jahre) schnitten die Jungen zumeist besser ab als die Mädchen.
- (4) Beide Geschlechter zeigten gekrümmte Perzentilkurven (10., 50. und 90. Perzentil), was auf eine nicht-lineare (kurvilineare) Entwicklung der YBT-Leistungen mit zunehmendem Alter hinweist.

Die Annahme, dass sich die YBT-LQ-Leistungen mit zunehmenden Alter verbessern, bestätigte sich zunächst bei den Jungen. Wie oben beschrieben (1), schnitt die älteste Altersgruppe besser ab als die jüngeren Altersgruppen. Im Gegenteil dazu und im Widerspruch zur unserer Annahme, zeigte die jüngste Altersgruppe (2) der Mädchen (10–11 Jahre) bessere Leistungen als die mittleren Altersgruppen (12–13 und 14–15 Jahre) und erzielte ähnliche Ergebnisse wie die älteste Altersgruppe (16–17 Jahre). Die Ergebnisse der Studie IV weisen auf einen vielfältigen Einfluss der Pubertät/Reifung in Bezug auf die Leistungen im YBT-LQ hin. Insbesondere die Mädchen scheinen am Anfang der Pubertät von Wachstums- und Reifungsprozessen zu profitieren, während Jungen eher im weiteren Verlauf der Pubertät von diesen Prozessen profitieren. Es gibt Hinweise, dass Mädchen früher Reifungsprozessen unterliegen als Jungen und somit Mädchen schneller ihren Wachstumshöhepunkt erreichen. Die Studie von Tanner und Kollegen [64] kam zu dem Ergebnis, dass Mädchen zwei Jahre früher ihren Wachstumshöhepunkt erreichen als Jungen. Zudem zeigten Mädchen im Alter von zehn Jahren einen ähnlichen Wachstumsanstieg (Wachstum in cm/ Jahr) wie Jungen im Alter von zwölf Jahren.

Die Ergebnisse der Studie IV zeigten auch geschlechtsspezifische Unterschiede. So erzielten die Jungen bessere YBT-LQ-Leistungen als die Mädchen (3), aber nur für die beiden älteren Altersgruppen (14–15 und 16–17 Jahre). Bei den jüngeren Altersgruppen (10–11 und 12–13 Jahre) kam es zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den beiden Geschlechtern. Gründe können hier wiederum der Einfluss von Reifungsprozessen, wie bereits oben beschrieben, auf die Gleichgewichtsleistung sein. Diese geschlechtsspezifische Entwicklung ist auch in den Perzentilkurven sichtbar. Es gibt keine eindeutig linearen Leistungsverläufe (4). In der Leistungsentwicklung nahmen die YBT-Werte der Jungen mit zunehmenden Alter zu, während die Entwicklung der Mädchen anfänglich abnimmt und anschließend wieder zunimmt. Darüber hinaus konnten die Jungen im Alter von 14–15 Jahren und die Mädchen im Alter von 12–13 Jahren beschleunigte Verbesserungen aufweisen, was auf das Vorhandensein einer besonderen Entwicklungsphase für die Gleichgewichtsleistung hinweist. Diese Entwicklungsphase sollte bei der Ausbildung und Bewertung der Gleichgewichtsleistung berücksichtigt werden.

Vergleicht man die Ergebnisse der Studie IV mit denen anderer Studien, so eignet sich nach aktuellem Kenntnisstand nur die Studie von Alhusaini und Kollegen [65]. In dieser Studie wurden männliche Jugendliche im Alter von 12–15 Jahren untersucht. Im Vergleich zu den 12- bis 13- und 14- bis 15-jährigen Jugendlichen aus Studie IV erzielten die Jugendlichen aus Saudi-Arabien größere Werte für die normalisierte AT-Reichweiten (~3–4 %), aber kleinere

Werte für die PM- (~6–11 %) und PL- (~2–4 %) Reichweiten sowie für den CS (~1–4 %). Die beobachteten Unterschiede zwischen der in Deutschland erhobenen Studie IV und der in Saudi-Arabien erhobenen Studie, könnten auf Diskrepanzen in Kultur und Lebensweise zurückgeführt werden, wie es schon bei Butler und Kollegen [66] zwischen in Afrika und Nordamerika heranwachsenden Fußballspielern beobachtet wurde. In dieser Hinsicht konnte die Studie von Guthold und Kollegen [67] beobachten, dass ein weniger aktiver Lebensstil im Nahen Osten im Vergleich zu europäischen Jugendlichen negative Auswirkungen auf die körperliche Fitness und die Gleichgewichtsfähigkeit haben kann.

Die Erstellung normativer Daten und die daraus resultierenden Erkenntnissen des YBT-LQ stellen eine besondere Bedeutung für Fachkräfte (Lehrkräfte, Trainerinnen und Trainer), die in pädagogischen (z. B. Schule) oder sportlichen (z. B. Verein) Settings arbeiten. Die Referenzwerte können genutzt werden, um YBT-LQ-Leistungen in einem bestimmten Alter sowie während Reifungs- und Entwicklungsprozessen zu beurteilen. Zudem können die Perzentilwerte dazu dienen, zwischen High- und Low-Performer zu unterscheiden. Daraus resultierend können Schulen und/oder Sportvereine individuelle Sport- oder Trainingsprogramme anbieten. So könnten zum Beispiel „Low-Performer“ spezielle Bewegungsfördermaßnahmen erhalten und „High-Performer“ in spezielle Förderprogramme für sportliche Talente eingeführt werden.

In Bezug auf den YBT-UQ lassen sich die wichtigsten Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- (1) Die Gruppe der 14- bis 15-jährigen Jungen erzielte bessere Ergebnisse in der MD-Richtung als die beiden jüngeren Gruppen (10–11 Jahre und 12–13 Jahre) und die älteste Gruppe (16–17 Jahre).
- (2) Die jüngste Gruppe der Mädchen (10–11 Jahre) erzielte bessere Ergebnisse in der IL-Richtung und im CS im Vergleich zu den höheren Altersklassen.
- (3) Beide Geschlechter zeigen gekrümmte Perzentilkurven (10., 50. und 90. Perzentil), was auf einen nicht-linearen Entwicklungsverlauf der YBT-Leistungen mit ansteigendem Alter hinweist.
- (4) In Bezug auf geschlechtsspezifische Unterschiede erzielten die 12- bis 13-jährigen Mädchen bessere Ergebnisse in der SL-Richtung und im CS als die gleichaltrigen Jungen, die 14- bis 15-jährigen Jungen erzielten in allen Richtungen bessere Ergebnisse als die gleichaltrigen Mädchen und die 16- bis 17-jährigen Jungen erzielten im Vergleich zu den Mädchen bessere Ergebnisse in der IL- und SL-Richtung sowie im CS.

Die Annahme, dass sich die YBT-UQ-Leistungen mit zunehmenden Alter verbessern, konnte weder für die Jungen noch für die Mädchen bestätigt werden. Die 14- bis 15-jährigen Jungen erzielten zwar bessere Werte (1) in der MD-Richtung als die jüngeren Altersklassen (10–11 Jahre und 12–13 Jahre), aber sie erzielten auch bessere Ergebnisse (außer in der SL-Richtung) als die älteste Altersklasse (16–17 Jahre). Zudem wurde beobachtet, dass die 12- bis 13-jährigen Jungen erwartungsgemäß niedrigere Werte erzielten als die älteren Altersklassen (14–15 Jahre und 16–17 Jahre), jedoch auch niedrigere Werte als die jüngste Altersklasse (10–11 Jahre). Bei den Mädchen ist ein signifikanter altersspezifischer Unterschied für eine der drei Bewegungsrichtungen (IL-Richtung) und den CS beobachtbar, jedoch zeigten die Ergebnisse, dass die 10- bis 11-jährigen Mädchen bessere Leistungen erzielten (2) als die älteren Altersgruppen. Eine mögliche Erklärung für diese Ergebnisse können Wachstums- und Reifungsprozesse in Kindheit und Jugend sein. Diese Entwicklungsprozesse verlaufen nicht linear (3), sondern unterliegen Schwankungen [68], in denen sich das Leistungsniveau verändert und auch über gleiche Zeiträume unterschiedlich verlaufen kann [69]. Darüber hinaus verlaufen die Wachstums- und Reifungsprozesse bei Jungen und Mädchen unterschiedlich [70, 71]. Dies wäre ein Grund, um die beobachteten geschlechtsspezifischen Unterschiede (4) zu erklären. So erzielten die 12- bis 13-jährigen Mädchen (SL-Richtung und CS), die 14- bis 15-jährigen Jungen (alle Richtungen) und die 16- bis 17-jährigen Jungen (IL- und SL-Richtungen sowie CS) bessere Leistungen im Geschlechtsvergleich. Die Tatsache, dass die Mädchen zu einem früheren Zeitpunkt bessere Leistungen erzielen und die Jungen zu einem späteren Zeitpunkt besser abschneiden, könnte auf den unterschiedlichen Beginn der Wachstums- und Reifungsprozesse zurückzuführen sein. So konnten die Studien von Marshall und Tanner [72, 73] zeigen, dass ein exponentieller Wachstumsanstieg bei Mädchen, um das 12. Lebensjahr und bei Jungen, um das 14. Lebensjahr stattfindet.

Nach jetzigem Kenntnisstand existieren keine Studien, in denen alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte für den YBT-UQ bei Kindern und Jugendlichen untersucht wurden. Die Ergebnisse der Studie V können somit nur mit Befunden aus Studien verglichen werden, die erwachsene Personen untersuchten. Die Studie von Borms und Cools [29] untersuchte u. a. 18- bis 25-jährige Erwachsene und berichtete über ähnliche Ergebnisse. Jedoch lassen sich auch niedrigere und höhere Leistungsniveaus beobachten (Tabelle 1).



Tabelle 1: Vergleich der YBT-UQ-Leistungen der Studie V mit der Studie von Borms und Cools [27]. Die Werte der Studie V wurden aus dem 50. Perzentil der Referenzwerte genommen.

Bewegungsrichtung	Geschlecht	Studie V	Borms & Cools [27]
		(10–17 Jahre)	(18–25 Jahre)
MD	männlich	93,1–104,5 %	102–104 %
	weiblich	93,5–99,5 %	96–102 %
IL	männlich	84,4–98,8 %	90–94 %
	weiblich	80,8–101,5 %	83–86 %
SL	männlich	59,2–78,6 %	90–94 %
	weiblich	65,9–76,0 %	83–86 %
CS	männlich	79,5–93,3 %	87–90 %
	weiblich	81,5–92,2 %	81–85 %

CS = composite score; IL = inferolateral; MD = mediolateral; SL = superolateral

Die erhobenen alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerte können von pädagogischen Fachkräften, Trainerinnen und Trainern sowie Therapeutinnen und Therapeuten verwendet werden, um das Leistungsniveau eines Kindes oder eines Jugendlichen zu klassifizieren. Auf dieser Grundlage können individuell angepasste Interventionen entwickelt und umgesetzt werden. Zum einen könnten Kinder und Jugendliche gezielte Fördermaßnahmen erhalten, um ihre motorischen Fähigkeiten zu verbessern. Zum anderen können besondere Talente erkannt und speziellen Förderprogrammen zugeteilt werden.

## 7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse der Studien I–V dieser Arbeit tragen einen wesentlichen Beitrag zum aktuellen Forschungsstand bei. Basierend auf diesen Ergebnissen, lassen sich folgende Schlussfolgerungen treffen:

- (1) Sowohl der YBT-LQ als auch der YBT-UQ sind zuverlässige Tests, um die Gleichgewichtsfähigkeit bzw. die Schulterbeweglichkeit (Mobilität/Stabilität) im Kindes und Jugendalter (10–17 Jahre) zu ermitteln. Zudem kann der YBT zwischen Jugendlichen mit hohem versus niedrigem Leistungsniveau unterscheiden. Interessant wären zukünftige Studien, die sportartspezifische Unterschiede bei Kindern und

Jugendlichen untersuchen und ermitteln welchen Einfluss die ausübenden Sportarten auf die YBT-Leistungen haben.

- (2) Es ist auf eine korrekte Ausführung des YBT im Kindes- und Jugendalter zu achten, da die jungen Probanden oft mehr Instruktionen und Zeit benötigen, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Zudem sollte in darauffolgenden Studien darauf verzichtet werden, die Ergebnisse von Kindern und Jugendlichen mit denen von erwachsenen Probanden zu vergleichen. Es ist davon auszugehen, dass erwachsene Personen in der Gleichgewichtsfähigkeit und der Mobilität/Stabilität von Gelenken viel fortgeschrittenere und ausgereifere Kontrollmechanismen besitzen als Heranwachsende.
- (3) Um klinisch relevante Effekte zwischen wiederholten Messungen zu erkennen, müssen sich die Werte für den YBT-LQ um 4,9 bis 16,1 % und für den YBT-UQ um 4,8 bis 21,1 % verändern. Zukünftige Forschungen sind erforderlich, um die Anpassungshöhe infolge von Interventionen im Hinblick auf diese Grenzwerte zu prüfen.
- (4) Die Entwicklung der Gleichgewichtsfähigkeit und der Schulterbeweglichkeit sind nicht im Kindesalter abgeschlossen und setzen sich im Jugendalter fort. Zudem verlaufen sie nicht linear, sondern sind Schwankungen ausgesetzt, die wahrscheinlich auf Wachstums- und Reifungsprozesse zurückzuführen sind. Zukünftige Forschungen sind erforderlich, um genauere Folgen über die Reifungsprozesse und deren Auswirkung auf die Gleichgewichtsfähigkeit und der Schultermobilität/-stabilität zu untersuchen. Dazu wären Studien nötig, die neben dem kalendarischen auch das biologische Alter berücksichtigen. Des Weiteren wären Längsschnitt- anstatt Kohortenstudien interessant, die Kinder in ihrer Entwicklung ins Jugendalter begleiten, um genauere Aussagen über das Verhältnis YBT-Leistungen und Reifungsprozesse zu erhalten.
- (5) Die Ergebnisse der YBT-LQ-Leistungen haben gezeigt, dass die Entwicklung der Gleichgewichtsfähigkeit bei Jungen und Mädchen unterschiedlich verläuft. Die Mädchen erzielten in jüngeren Jahren (10-11 Jahre), im Altersvergleich, gute Ergebnisse. Diese Ergebnisse nehmen im weiteren Verlauf (12-13 und 14-15 Jahre) ab, bevor sie sich wieder verbessern (16-17 Jahre). Die YBT-LQ-Werte der Jungen nehmen mit zunehmenden Alter zu. Darüber hinaus existieren bei den Jungen im Alter von 14-15 Jahren und bei den Mädchen im Alter von 12-13 Jahren besondere Entwicklungsphasen, in der eine beschleunigte Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit stattfindet. Diese Erkenntnis sollte in Trainingsphasen berücksichtigt werden. Zukünftige Studien könnten diese Phasen genauer untersuchen

und ermitteln, welche Auswirkungen ein gezieltes Gleichgewichts- oder Beweglichkeitstraining auf diese Entwicklungsphase hat.

- (6) Im Vergleich Mädchen versus Jungen bleibt für den YBT-LQ festzuhalten, dass die Entwicklung der Gleichgewichtsfähigkeit nicht parallel verläuft. Die Mädchen unterliegen früheren Reifungsprozessen und profitieren anfänglich davon. Folgestudien könnten die Ergebnisse der YBT-LQ-Leistungen unter dem Gesichtspunkt des Reifegrads von Jugendlichen untersuchen. Die Entwicklung von Jugendlichen ist sehr unterschiedlich und der Vergleich innerhalb biologischer Altersklassen, während der Reifungsprozesse, könnte neue Erkenntnisse bringen.
- (7) Die Ergebnisse der YBT-UQ-Leistungen haben entgegen unserer Annahme gezeigt, dass weder die Jungen noch die Mädchen mit zunehmendem Alter deutliche Verbesserungen zeigen. So erzielten die 14- bis 15-jährigen Jungen bessere Werte als die 16- bis 17-Jährigen für die MD-Richtung. Bei den Mädchen erzielte die jüngste Altersgruppe (10–11 Jahre) bessere Ergebnisse in der II-Richtung und CS als alle älteren Altersgruppen. Zukünftige Studien sind nötig, um zu erforschen, unter welchen Gesichtspunkten sich die Schultermobilität/-stabilität entwickelt. Dabei könnten jüngere oder ältere Altersgruppen hinzugezogen werden.
- (8) Auch in Bezug auf geschlechtsspezifische Unterschiede ergab sich beim YBT-UQ ein ungleichmäßiges Bild. Auf der einen Seite erzielten die 12- bis 13-jährigen Mädchen bessere Ergebnisse (SL-Richtung und CS) als die gleichaltrigen Jungen. Auf der anderen Seite zeigten die 14- bis 15-jährigen Jungen bessere Ergebnisse (SL-Richtung) als die gleichaltrigen Mädchen und auch die 16- bis 17-jährigen Jungen zeigten bessere Ergebnisse (alle Richtungen) als die Mädchen. Auch hier könnte der Vergleich innerhalb verschiedener Reifegrade oder zeitlich kleineren Altersklassen neue Erkenntnisse schaffen.
- (9) Die Entwicklungen der Schulterbeweglichkeit (Mobilität/ Stabilität) unterliegt im Laufe des Alters, sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen, Schwankungen. Diese Schwankungen sind bei Jungen stärker ausgeprägt. Zukünftige Studien sollten untersuchen, welche Effekte (Längenwachstum, Massenzunahme, hormonelle Änderungen) diese Schwankungen verursachen.

## 8 Literatur

1. Caspersen, C.J., K.E. Powell, and G.M. Christenson, *Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research*. Public Health Rep, 1985. **100**(2): p. 126-31.
2. World Health Organization, t., *Global recommendations on physical activity for health*. 2010: World Health Organization.
3. Lampert, T., et al., [*Physical activity among children and adolescents in Germany. Results of the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS)*]. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 2007. **50**(5-6): p. 634-42.
4. Lampert, T., R. Sygusch, and R. Schlack, [*Use of electronic media in adolescence. Results of the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS)*]. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 2007. **50**(5-6): p. 643-52.
5. Cooper, A.R., et al., *Physical activity levels of children who walk, cycle, or are driven to school*. Am J Prev Med, 2005. **29**(3): p. 179-84.
6. Adegboye, A.R., et al., *Recommended aerobic fitness level for metabolic health in children and adolescents: a study of diagnostic accuracy*. Br J Sports Med, 2011. **45**(9): p. 722-8.
7. Ruiz, J.R., et al., *Cardiorespiratory fitness cut points to avoid cardiovascular disease risk in children and adolescents; what level of fitness should raise a red flag? A systematic review and meta-analysis*. Br J Sports Med, 2016. **50**(23): p. 1451-1458.
8. Vaisto, J., et al., *Physical activity and sedentary behaviour in relation to cardiometabolic risk in children: cross-sectional findings from the Physical Activity and Nutrition in Children (PANIC) Study*. Int J Behav Nutr Phys Act, 2014. **11**: p. 55.
9. Wang, H.K., et al., *Risk-factor analysis of high school basketball-player ankle injuries: a prospective controlled cohort study evaluating postural sway, ankle strength, and flexibility*. Arch Phys Med Rehabil, 2006. **87**(6): p. 821-5.
10. Tomkinson, G.R., *Global changes in anaerobic fitness test performance of children and adolescents (1958-2003)*. Scand J Med Sci Sports, 2007. **17**(5): p. 497-507.
11. Tomkinson, G.R. and T.S. Olds, *Secular changes in aerobic fitness test performance of Australasian children and adolescents*. Med Sport Sci, 2007. **50**: p. 168-182.
12. Runhaar, J., et al., *Motor fitness in Dutch youth: differences over a 26-year period (1980-2006)*. J Sci Med Sport, 2010. **13**(3): p. 323-8.
13. Smith, C.A., N.J. Chimera, and M. Warren, *Association of y balance test reach asymmetry and injury in division I athletes*. Med Sci Sports Exerc, 2015. **47**(1): p. 136-41.
14. Plisky, P.J., et al., *Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players*. J Orthop Sports Phys Ther, 2006. **36**(12): p. 911-9.
15. Hrysomallis, C., *Balance ability and athletic performance*. Sports Med, 2011. **41**(3): p. 221-32.
16. Castro-Pinero, J., et al., *Criterion-related validity of sit-and-reach and modified sit-and-reach test for estimating hamstring flexibility in children and adolescents aged 6-17 years*. Int J Sports Med, 2009. **30**(9): p. 658-62.
17. Condon, C. and K. Cremin, *Static balance norms in children*. Physiother Res Int, 2014. **19**(1): p. 1-7.
18. Woll, A., et al., *The 'Motorik-Modul' (MoMo): physical fitness and physical activity in German children and adolescents*. Eur J Pediatr, 2011. **170**(9): p. 1129-42.
19. Tomkinson, G.R., et al., *Temporal Trends in the Standing Broad Jump Performance of 10,940,801 Children and Adolescents Between 1960 and 2017*. Sports Med, 2021. **51**(3): p. 531-548.
20. Matton, L., et al., *Secular trends in anthropometric characteristics, physical fitness, physical activity, and biological maturation in Flemish adolescents between 1969 and 2005*. Am J Hum Biol, 2007. **19**(3): p. 345-57.
21. Pollock, A.S., et al., *What is balance?* Clin Rehabil, 2000. **14**(4): p. 402-6.
22. Bell, F., *Principles of mechanics and biomechanics*. 1998, Glasgow: Stanley Thornes.

23. Shumway-Cook, A. and A. Woollacott, *Motor control: translating research into clinical practice*. Vol. Fifth Edition, international Edition 2016, Philadelphia: Wolters Kluwer.
24. Bös, K., et al. *Deutscher Motorik-Test 6-18 (DMT 6-18)*. 2009 15.09.2022]; Available from: [https://www.sport.kit.edu/more/Testothek\\_Sit\\_and\\_Reach.php#:~:text=Beim%20Sit%20%26%20Reach%20Test%20sitzt,Beinen%20unter%20eine%20Fu%C3%9Fsohlen%20gelangt.](https://www.sport.kit.edu/more/Testothek_Sit_and_Reach.php#:~:text=Beim%20Sit%20%26%20Reach%20Test%20sitzt,Beinen%20unter%20eine%20Fu%C3%9Fsohlen%20gelangt.)
25. Valkovič, P., et al., *Push and release test predicts better Parkinson fallers and nonfallers than the pull test: comparison in OFF and ON medication states*. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 2008. **23**(10): p. 1453-1457.
26. Klee, A. and K. Wiemann, *Dehnen - Training der Beweglichkeit*. Vol. 2. 2012, Schorndorf: Verlag Karl Hofmann.
27. Bös, K., et al. *Deutscher Motorik-Test 6-18 (DMT 6-18)*. 2009; Available from: [https://www.sport.kit.edu/more/Testothek\\_Rumpfbeuge.php](https://www.sport.kit.edu/more/Testothek_Rumpfbeuge.php).
28. Read, P.J., et al., *A Review of Field-Based Assessments of Neuromuscular Control and Their Utility in Male Youth Soccer Players*. *J Strength Cond Res*, 2019. **33**(1): p. 283-299.
29. Borms, D. and A. Cools, *Upper-Extremity Functional Performance Tests: Reference Values for Overhead Athletes*. *Int J Sports Med*, 2018. **39**(6): p. 433-441.
30. Butler, R.J., et al., *Differences in soccer players' dynamic balance across levels of competition*. *J Athl Train*, 2012. **47**(6): p. 616-20.
31. Westrick, R.B., et al., *Exploration of the y-balance test for assessment of upper quarter closed kinetic chain performance*. *Int J Sports Phys Ther*, 2012. **7**(2): p. 139-47.
32. Schwartz, G., et al., *Lower Quarter Y Balance Test performance: Reference values for healthy youth aged 10 to 17 years*. *Gait Posture*, 2020. **80**: p. 148-154.
33. Teyhen, D.S., et al., *Normative data and the influence of age and gender on power, balance, flexibility, and functional movement in healthy service members*. *Mil Med*, 2014. **179**(4): p. 413-20.
34. Butler, R., et al., *Sex differences in dynamic closed kinetic chain upper quarter function in collegiate swimmers*. *J Athl Train*, 2014. **49**(4): p. 442-6.
35. Fusco, A., et al., *Y balance test: Are we doing it right?* *J Sci Med Sport*, 2020. **23**(2): p. 194-199.
36. Wilson, B.R., et al., *The Relationship Between Hip Strength and the Y Balance Test*. *J Sport Rehabil*, 2018. **27**(5): p. 445-450.
37. Kim, Y., et al., *Comparison of shoulder range of motion, strength, and upper quarter dynamic balance between NCAA division I overhead athletes with and without a history of shoulder injury*. *Phys Ther Sport*, 2020. **42**: p. 53-60.
38. Read, P.J., et al., *Utility of the anterior reach Y-BALANCE test as an injury risk screening tool in elite male youth soccer players*. *Phys Ther Sport*, 2020. **45**: p. 103-110.
39. Bullock, G.S., et al., *Basketball Players' Dynamic Performance Across Competition Levels*. *J Strength Cond Res*, 2018. **32**(12): p. 3528-3533.
40. Bullock, G.S., et al., *Examining Fundamental Movement Competency and Closed-Chain Upper-Extremity Dynamic Balance in Swimmers*. *J Strength Cond Res*, 2017. **31**(6): p. 1544-1551.
41. Krysak, S., et al., *Fundamental Movement and Dynamic Balance Disparities among Varying Skill Levels in Golfers*. *Int J Sports Phys Ther*, 2019. **14**(4): p. 537-545.
42. Smith, L.J., et al., *Performance and reliability of the Y-Balance Test in high school athletes*. *J Sports Med Phys Fitness*, 2018. **58**(11): p. 1671-1675.
43. Plisky, P.J., et al., *The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test*. *N Am J Sports Phys Ther*, 2009. **4**(2): p. 92-9.
44. Lopez-Plaza, D., et al., *Reliability of the Star Excursion Balance Test and Two New Similar Protocols to Measure Trunk Postural Control*. *PM R*, 2018. **10**(12): p. 1344-1352.
45. Gorman, P.P., et al., *Upper Quarter Y Balance Test: reliability and performance comparison between genders in active adults*. *J Strength Cond Res*, 2012. **26**(11): p. 3043-8.
46. Faigenbaum, A.D., et al., *Feasibility and reliability of dynamic postural control measures in children in first through fifth grades*. *Int J Sports Phys Ther*, 2014. **9**(2): p. 140-8.
47. Calatayud, J., et al., *Test-retest reliability of the Star Excursion Balance Test in primary school children*. *Phys Sportsmed*, 2014. **42**(4): p. 120-4.

48. Linek, P., et al., *Reliability and number of trials of Y Balance Test in adolescent athletes*. Musculoskelet Sci Pract, 2017. **31**: p. 72-75.
49. Alnahdi, A.H., et al., *Reference values for the Y Balance Test and the lower extremity functional scale in young healthy adults*. J Phys Ther Sci, 2015. **27**(12): p. 3917-21.
50. Hudson, C., J.C. Garrison, and K. Pollard, *Y-balance normative data for female collegiate volleyball players*. Phys Ther Sport, 2016. **22**: p. 61-65.
51. Malina, R.M., C. Bouchard, and O. Bar-Or, *Growth, maturation, and physical activity*. 2004: Human kinetics.
52. Bortz, J. and N. Döring, *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaften*, ed. 3. 2002, Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
53. Plisky, P.J., *Balance Test home study course*. 2010.
54. Filipa, A., et al., *Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes*. J Orthop Sports Phys Ther, 2010. **40**(9): p. 551-8.
55. Fleiss, J.L., *Reliability of Measurement. The Design and Analysis of Clinical Experiments*. Wiley, 1986.
56. Atkinson, G. and A.M. Nevill, *Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine*. Sports Med, 1998. **26**(4): p. 217-38.
57. Weir, J.P., *Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM*. J Strength Cond Res, 2005. **19**(1): p. 231-40.
58. Haley, S.M. and M.A. Fragala-Pinkham, *Interpreting change scores of tests and measures used in physical therapy*. Phys Ther, 2006. **86**(5): p. 735-43.
59. Bland, J.M. and D.G. Altman, *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement*. Lancet, 1986. **1**(8476): p. 307-10.
60. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 1969.
61. Deyo, R.A. and R.M. Centor, *Assessing the responsiveness of functional scales to clinical change: an analogy to diagnostic test performance*. J Chronic Dis, 1986. **39**(11): p. 897-906.
62. McCann, R.S., et al., *Variations in Star Excursion Balance Test Performance Between High School and Collegiate Football Players*. J Strength Cond Res, 2015. **29**(10): p. 2765-70.
63. Salo, T.D. and E. Chaconas, *The Effect of Fatigue on Upper Quarter Y-Balance Test Scores in Recreational Weightlifters: A Randomized Controlled Trial*. Int J Sports Phys Ther, 2017. **12**(2): p. 199-205.
64. Tanner, J.M., R.H. Whitehouse, and M. Takaishi, *Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity, and weight velocity: British children, 1965. I*. Arch Dis Child, 1966. **41**(219): p. 454-71.
65. Alhusaini, A.A., et al., *Normative Values of Y Balance Test and Isometric Muscle Strength among Saudi School Children*. Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin, 2017. **27**(03): p. 164-170.
66. Butler, R.J., et al., *Comparison of dynamic balance in adolescent male soccer players from rrwanda and the United States*. Int J Sports Phys Ther, 2013. **8**(6): p. 749-55.
67. Guthold, R., et al., *Global trends in insufficient physical activity among adolescents: a pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants*. Lancet Child Adolesc Health, 2020. **4**(1): p. 23-35.
68. Malina, R.M., C. Bouchard, and G. Beunen, *Human growth: selected aspects of current research on well-nourished children*. Annual Review of Anthropology, 1988. **17**(1): p. 187-219.
69. Tanner, J., R. White-house, and D.R. Wenger, *Atlas of children's growth, normal variation and growth disorders*. Journal of Pediatric Orthopaedics, 1983. **3**(4): p. 531.
70. Tanner, J. and P.S. Davies, *Clinical longitudinal standards for height and height velocity for North American children*. The Journal of pediatrics, 1985. **107**(3): p. 317-329.
71. Cameron, N., J.M. Tanner, and R.H. Whitehouse, *A longitudinal analysis of the growth of limb segments in adolescence*. Ann Hum Biol, 1982. **9**(3): p. 211-20.
72. Marshall, W.A. and J.M. Tanner, *Variations in the pattern of pubertal changes in boys*. Arch Dis Child, 1970. **45**(239): p. 13-23.

73. Marshall, W.A. and J.M. Tanner, *Variations in pattern of pubertal changes in girls*. Arch Dis Child, 1969. **44**(235): p. 291-303.



# Discriminative validity of the lower and upper quarter Y balance test performance: a comparison between healthy trained and untrained youth

Gerrit Schwartz<sup>1\*</sup>, Rainer Beurskens<sup>2†</sup> and Thomas Muehlbauer<sup>1†</sup>

## Abstract

**Background:** The Lower (YBT-LQ) and Upper (YBT-UQ) Quarter Y Balance Test have been widely used for the assessment of dynamic balance and shoulder mobility/stability, respectively. However, investigations on the validity of the two tests in youth are lacking. Therefore, we performed two studies to determine discriminative validity of the YBT-LQ (study 1) and the YBT-UQ (study 2) in healthy youth.

**Methods:** Sixty-nine male soccer players (age:  $14.4 \pm 1.9$  yrs) and 69 age-matched untrained male subjects ( $14.3 \pm 1.6$  yrs) participated in study 1 and 37 young swimmers (age:  $12.3 \pm 2.1$  yrs) as well as 37 age-/sex-matched individuals (age:  $12.5 \pm 2.0$  yrs) took part in study 2. Absolute (cm) and relative (% leg/arm length) maximal reach distances per reach direction and the composite score of the YBT-LQ/UQ were used as outcome measures. One-way analysis of variance and the receiver operator characteristic curve analysis (i.e., calculating the area under the curve [AUC]) were conducted to assess discriminative validity.

**Results:** Concerning the relative values, youth athletes showed significantly better YBT-LQ (study 1:  $p < 0.001$ ,  $d = 0.86-1.21$ ) and YBT-UQ (study 2:  $p < 0.001$ ,  $d = 0.88-1.48$ ) test performances compared to age- and sex-matched untrained subjects. Further, AUC-values indicated a chance of  $\geq 74\%$  (YBT-LQ) and  $\geq 71\%$  (YBT-UQ) to discriminate between youth athletes and controls. These findings were confirmed when using the absolute data for analysis.

**Conclusions:** According to our results, the YBT-LQ and the YBT-UQ seem to be useful test instruments to discriminate trained and untrained healthy youth performance for dynamic balance and shoulder mobility/stability, respectively.

**Keywords:** Postural control, Shoulder mobility/stability, Young athletes, Validation

\* Correspondence: [gerrit.schwartz@uni-due.de](mailto:gerrit.schwartz@uni-due.de)

†Rainer Beurskens and Thomas Muehlbauer are co-authors.

<sup>1</sup>Division of Movement and Training Sciences/Biomechanics of Sport, University of Duisburg-Essen, Gladbecker Str. 182, 45141 Essen, Germany Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2020 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.



## Background

The Y-Balance-Test (YBT) represents a field-based test [1, 2] assessing i) dynamic balance performance when applied to lower extremities (YBT-LQ) [3] and ii) shoulder mobility/stability when applied to upper extremities (YBT-UQ) [4]. Both testing procedures have widely been used in previous literature to determine influencing factors such as age [5, 6], sex [6, 7], anthropometric characteristics [8, 9], limb dominance/strength [4, 10], and previous injuries [11, 12] and to detect performance differences in different cohorts [3, 13–15].

Concerning the latter aspect, Butler et al. [3] investigated YBT-LQ performance in male high school, collegiate, and professional soccer players and detected significantly lower reach distances in the posteromedial and posterolateral directions for the high school players than the two other groups of player. Further, Bullock et al. [13] studied middle school, high school, college, and professional basketball players and observed that high school players performed significantly better (i.e., anterior reach direction) compared to middle school and college players. Regarding the YBT-UQ, Bullock et al. [14] tested high school and collegiate swimmers and found significantly better values for the medial reach direction in favour of the latter group of swimmers. In another study, Krysak et al. [15] compared middle school, high school, college, and professional golfer players and reported greater reach distances in the medial, inferolateral, and superolateral directions for the professional golfers compared to the three other groups.

Results of the aforementioned studies shed light onto performance differences based on the athletes' level of competition and experience. However, not only their level of competition but also the age differed between cohorts. For example, in the study conducted by Butler and colleagues [3], age differed between 15.6 years in high school soccer players and 26.2 years in professional soccer players. Further, participants in Krysak and co-workers [15] were aged between 12.2 years (middle school golfers) and 31.8 years (professional golfers). Thus, participants' age might have influenced performance differences in these studies and it remains unclear whether the YBT-LQ/UQ is discriminatively valid. As a consequence, studies comparing age- and sex-matched persons with various levels of competition are needed.

Most notably, examining discriminative validity of the YBT-LQ/UQ in children and adolescents is important since these age groups are used for talent selection and scouting [16]. More precisely, the investigation of age-/sex-matched youth in relation to their training status is useful to discriminate high-performer versus low-performer using the YBT-LQ/UQ. Thus, the aim of the present study was to determine discriminative validity of the YBT-LQ (study 1) and the YBT-UQ (study 2) by

comparing age- and sex-matched trained versus untrained youth. With reference to the relevant literature [3, 13–15], we expected better performances in both tests for trained compared to untrained youth and we hypothesized good discriminative validity for both tests.

## Methods

### Participants

Participants' characteristics are summarized in Table 1. In study 1, 69 male soccer players from a local sports club and 69 age-matched untrained male subjects performed the YBT-LQ. In study 2, 37 female and male swimmers from a local sports club and 37 age-/sex-matched untrained individuals conducted the YBT-UQ. The maturity offset was calculated in terms of years from peak height velocity (PHV) for each participant by using the formula provided by Moore et al. [17]. Participants' assent and parents' written informed consent were obtained prior to the start of the study. The Human Ethics Committee at the University of Duisburg-Essen, Faculty of Educational Sciences approved the study protocol.

### Testing procedures

Discriminative validity of the YBT-LQ and the YBT-UQ was assessed in study 1 and study 2, respectively. In both studies, we used a standardized general warm-up comprising 5 min of running at a moderate speed and a test-specific warm-up consisting of three submaximal reaches per arm/leg and reach direction. All participants received standardized verbal instructions and a visual demonstration regarding the testing procedure that included assessment of anthropometric variables (i.e., body mass, body height, arm length [AL], leg length [LL]) followed by performance assessment in the YBT-LQ (study 1) or YBT-UQ (study 2). The participants had no prior experience with the YBT-LQ/UQ.

### Assessment of anthropometric variables

Body mass (kg) was measured in light clothing and without shoes to the nearest 100 g with an electronic scale (seca 803, Basel, Switzerland). Further, body height (cm) was determined without shoes to the nearest 0.5 cm with a stadiometer (seca 217, Basel, Switzerland). Body mass index was calculated using body mass divided by height squared ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Length (cm) of the right and left arm was determined with a cloth tape measure from the seventh cervical spinous process to the distal tip of the middle finger with the shoulder being in a 90° abduction [18]. Further, left and right leg length (cm) were assessed by measuring the distance from the anterior superior iliac spine to the most distal aspect of the medial malleolus using a cloth tape with the participant lying supine [19]. In accordance to Fusco et al. [8], trunk length was

**Table 1** Characteristics of the participants by study

Characteristic	Study 1 (N = 138)			Study 2 (N = 74)		
	Soccer players (n = 69)	Controls (n = 69)	p-value	Swimmers (n = 37)	Controls (n = 37)	p-value
Age (yrs)	14.4 ± 1.9	14.3 ± 1.6	.511	12.3 ± 2.1	12.5 ± 2.0	.650
Sex (f/m)	0/69	0/69		22/15	22/15	
Body mass (kg)	60.9 ± 14.8	64.8 ± 15.8	.136	49.2 ± 14.8	52.6 ± 17.8	.378
Body height (cm)	169.6 ± 12.5	173.5 ± 12.4	.069	160.8 ± 14.7	160.5 ± 14.7	.928
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	20.8 ± 2.9	21.3 ± 4.0	.419	18.6 ± 2.5	19.8 ± 3.3	.079
Maturity offset (yrs from PHV)	1.0 ± 1.5	0.9 ± 2.7	.750	0.1 ± 2.0	0.3 ± 1.9	.618
Left leg length (cm)	90.2 ± 6.2	94.1 ± 7.7	.196	-	-	-
Right leg length (cm)	90.1 ± 6.1	94.0 ± 7.5	.184	-	-	-
Left arm length (cm)	-	-	-	81.8 ± 8.7	81.0 ± 8.2	.686
Right arm length (cm)	-	-	-	81.9 ± 8.8	81.2 ± 8.3	.706
Trunk length (cm)	79.8 ± 8.3	80.2 ± 8.2	.419	-	-	-
Relative lower limb length (%)	53.1 ± 2.0	54.0 ± 2.8	.504	-	-	-

Data are mean ± standard deviation

BMI body mass index, f female, m male, PHV peak height velocity

calculated as the difference between body height and LL and relative lower limb length was determined using LL divided by body height and then multiplied by 100.

#### **Assessment of lower quarter Y balance test performance**

YBT-LQ performance was assessed by means of the YBT Kit (Functional Movement Systems®, Chatham, USA). The test kit consists of a centralized platform to which three pipes were attached representing the anterior (AT), posteromedial (PM), and posterolateral (PL) reach directions (Fig. 1a). Each pipe is marked in 1.0-cm increments for measurement purposes and equipped with a moveable reach indicator. The participants were asked to move the reach indicator as far as possible into the AT direction with the right leg while standing on the centralized platform with their left leg followed by standing on the right leg and reaching with the left leg. This protocol was then replicated for the PM and PL directions. Each participant performed three practice trials followed by three data-collection trials per leg and reach direction. A one-minute rest was provided between trials. The absolute maximal reach distance (cm) per leg and reach direction was used for further analysis. Reliability of the YBT-LQ has been shown to be predominately “excellent” in healthy youth [20].

#### **Assessment of upper quarter Y balance test performance**

The YBT Kit was also used for the assessment of YBT-UQ performance, with the three pipes representing the medial (MD), inferolateral (IL), and superolateral (SL) reach directions (Fig. 1b). Participants were instructed to move the reach indicator with the right arm as far as

possible in the MD, IL, and SL directions while maintaining a weight bearing one-arm push-up position with their left arm on the centralized platform. This protocol was then replicated for the left arm. Three practice trials were conducted followed by three data-collection trials. The rest between trials comprised 1 min. The best values (i.e., absolute maximal reach distance in cm) per arm and reach direction was used for further analysis. The reliability of the YBT-UQ ranged from “moderate-to-good” to “excellent” in healthy youth [21].

#### **Data and statistical analyses**

For both tests, relative/normalized maximal reach distances (%) per reach direction and leg/arm were calculated by dividing the absolute maximal reach distance (cm) by LL or AL (cm) and then multiplying by 100. In addition, the normalized (%) composite score (CS) per leg/arm was computed as the sum of the absolute maximal reach distance (cm) per reach direction divided by three times LL or AL and then multiplied by 100.

Further, the mean value was calculated as a measure of central tendency and the standard deviation (SD) as a dispersion measure. Normal distribution was examined using the Shapiro-Wilk test ( $p > 0.05$ ) and homogeneity of variances using the Levene test ( $p > 0.05$ ). An independent samples t-test was used to quantify differences between the cohorts. Discriminative validity was analyzed using the one-way analysis of variance (ANOVA). Statistically significant differences were identified at  $p < 0.05$ . Furthermore, effect size (Cohen's  $d$ ) was calculated and classified as “small” ( $0 \leq d \leq 0.49$ ), “moderate” ( $0.50 \leq d \leq 0.79$ ), and “large” ( $d \geq 0.80$ ) [22]. Moreover,

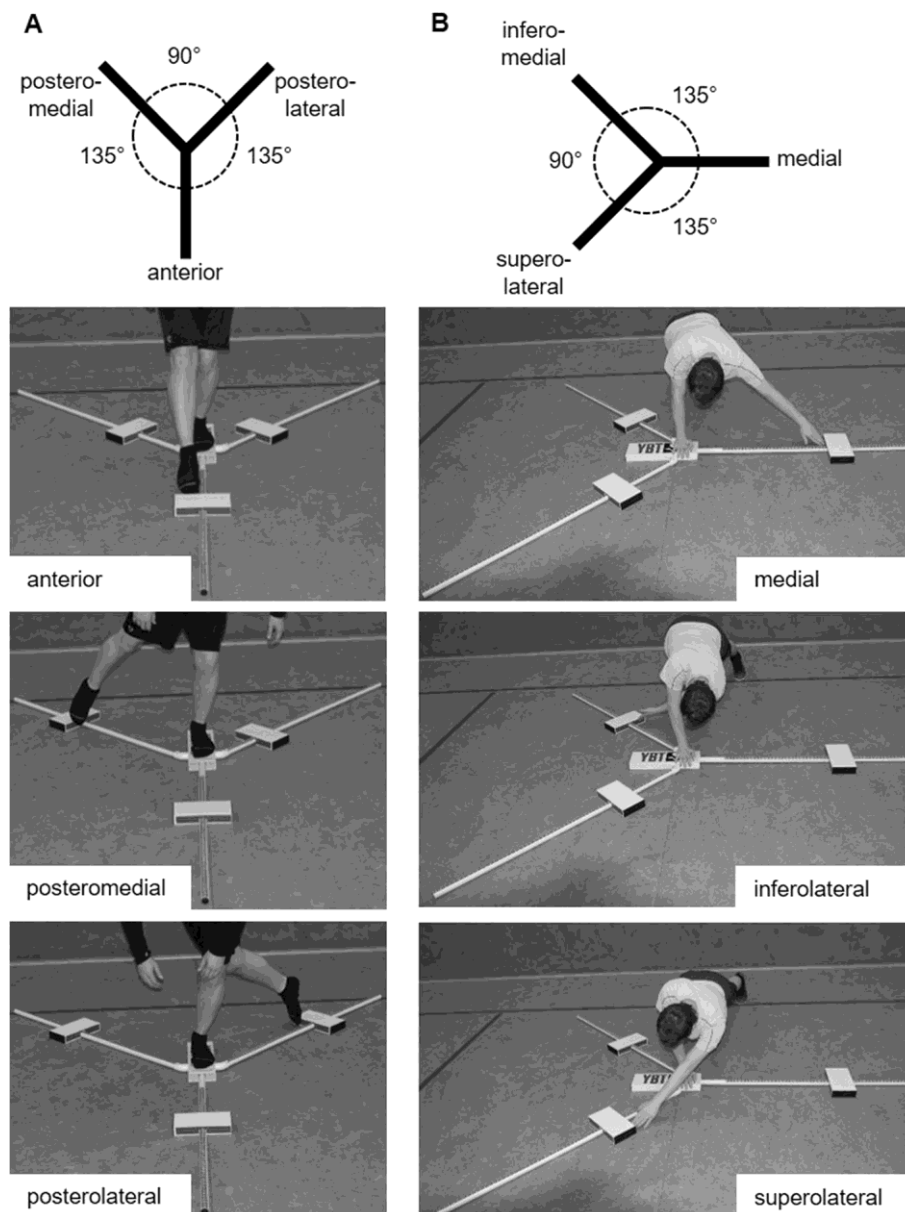


Fig. 1 Setup for the assessment of Lower (a) and Upper (b) Quarter Y Balance Test performance

we conducted a receiver operator characteristic (ROC) curve analysis and calculated the area under the receiver operator characteristic (AUC) curve for each outcome measure (i.e., per reach direction and composite score) separately. The AUC measures the entire two-dimensional area underneath the entire ROC curve. In this regard, Deyo and Centor [23] stated that an AUC-value of 0.50 indicates “no” and an AUC-value of 1.0 indicates “perfect” discriminative validity. All statistical analyses were performed using Statistical Package for Social Sciences version 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

## Results

Characteristics of the study participants

Irrespective of outcome, we did not detect statistically significant differences in participants’ characteristics, neither in study 1 nor in study 2 (Table 1).

### Discriminative validity of lower quarter Y balance test performance (study 1)

Statistical data on the discriminative validity for YBT-LQ performance between young male soccer players and age-matched male untrained subjects are displayed in Table 2. With regard to the absolute values (i.e., reach

**Table 2** Discriminative validity for the assessment of absolute (cm) and relative (% leg length) Lower Quarter Y Balance Test performance between trained (i.e., soccer players) and age-matched untrained (i.e., controls) youth

	Participants (N = 138)		Statistics	
	Soccer players (n = 69)	Controls (n = 69)	p-value (d)	AUC-value
<i>Right leg reach</i>				
AT (cm)	70.9 ± 7.6	67.2 ± 7.4	.004 (0.49)	.63
PM (cm)	107.6 ± 8.5	101.1 ± 11.4	<.001 (0.64)	.67
PL (cm)	103.9 ± 7.8	97.7 ± 10.2	<.001 (0.69)	.69
<i>Left leg reach</i>				
AT (cm)	69.6 ± 7.5	66.0 ± 8.2	.009 (0.45)	.64
PM (cm)	106.5 ± 8.2	99.5 ± 13.1	<.001 (0.64)	.66
PL (cm)	103.7 ± 9.1	96.8 ± 12.2	<.001 (0.65)	.68
<i>Right leg reach</i>				
AT (% LL)	78.9 ± 9.5	71.5 ± 7.3	<.001 (0.87)	.74
PM (% LL)	119.5 ± 8.8	107.8 ± 12.1	<.001 (1.11)	.78
PL (% LL)	115.6 ± 9.1	104.2 ± 11.5	<.001 (1.10)	.78
CS (% LL)	104.6 ± 8.1	94.5 ± 9.4	<.001 (1.16)	.80
<i>Left leg reach</i>				
AT (% LL)	77.5 ± 9.2	70.3 ± 7.3	<.001 (0.86)	.74
PM (% LL)	118.5 ± 8.7	106.0 ± 12.3	<.001 (1.17)	.79
PL (% LL)	115.5 ± 10.6	103.2 ± 12.3	<.001 (1.08)	.77
CS (% LL)	103.8 ± 8.1	93.2 ± 9.6	<.001 (1.21)	.81

Data are mean ± standard deviation. Absolute values (cm) are shown first followed by relative values (% LL). Cohen's *d* [18] can be classified as being small ( $0 \leq d \leq 0.49$ ), medium ( $0.50 \leq d \leq 0.79$ ), or large ( $d \geq 0.80$ ). In accordance with Deyo and Centor [23], the AUC-value can lie between 0.5 ("no" discriminative validity) and 1.0 ("perfect" discriminative validity)

AT anterior, AUC area under the receiver operator characteristic (ROC) curve, CS composite score, LL leg length, PL posterolateral, PM posteromedial

distance in cm), the soccer players compared to the controls achieved small- to medium-sized and significantly better values for AT ( $p \leq 0.009$ ;  $d = 0.45-0.49$ ), PM ( $p < 0.001$ ;  $d = 0.64$ ), and PL ( $p < 0.001$ ;  $d = 0.65-0.69$ ) directions, irrespective of the reaching leg. In addition, we detected significant differences between the three reach directions (PM > PL > AT) for the right and left leg reach, irrespective of training status (i.e., soccer players or untrained subjects). Further, AUC-values were 0.63 (AT), 0.67 (PM), and 0.69 (PL) for the right and 0.64 (AT), 0.66 (PM), and 0.68 (PL) for the left leg reach, respectively. Results indicate that there is a chance of 63–69% that the YBT-LQ is possible to differentiate between soccer players and age-matched untrained individuals.

Concerning the relative values (i.e., reach distance in % LL), the soccer players achieved large-sized and significantly better values for AT ( $p < 0.001$ ;  $d = 0.86-0.87$ ), PM ( $p < 0.001$ ;  $d = 1.11-1.17$ ), and PL ( $p < 0.001$ ;  $d = 1.08-1.10$ ) directions as well as for the CS ( $p < 0.001$ ;  $d = 1.16-1.21$ ) compared to the controls, irrespective of the reaching leg. Additionally, we found significant differences between the three reach directions (PM > PL > AT) for the right and the left leg reach, irrespective of training status (i.e., soccer players or untrained subjects). Further, AUC-values were 0.74 (AT), 0.78 (PM), 0.78

(PL), and 0.80 (CS) for the right and 0.74 (AT), 0.79 (PM), 0.77 (PL), and 0.81 (CS) for the left leg reach, respectively. Results indicate that there is a chance of 74–81% that the YBT-LQ is possible to differentiate between soccer players and age-matched untrained individuals.

#### Discriminative validity of upper quarter Y balance test performance (study 2)

Table 3 shows the statistics on the discriminative validity for YBT-UQ performance between young female and male swimmers and age-/sex-matched untrained subjects. With regard to the absolute values (i.e., reach distance in cm), we detected significant, large-sized differences in favour of swimmers for the MD ( $p < 0.001$ ,  $d = 0.87-0.91$ ), IL ( $p < 0.001$ ,  $d = 1.19-1.30$ ), and SL ( $p < 0.001$ ,  $d = 1.46-1.78$ ) directions. Further, we found significant differences between the three reach directions (MD > IL > SL) for the right and left arm reach, irrespective of training status (i.e., swimmers or untrained subjects). In addition, AUC-values were 0.75 (MD), 0.83 (IL), and 0.90 (SL) for the right and 0.75 (MD), 0.79 (IL), and 0.84 (SL) for the left arm reach, respectively. In other words, there is a chance of 75–90% that the YBT-UQ is possible to distinguish between swimmers and age-/sex-matched untrained subjects.



**Table 3** Discriminative validity for the assessment of absolute (cm) and relative (% arm length) Upper Quarter Y Balance Test performance between trained (i.e., swimmers) and age-/sex-matched untrained (i.e., controls) youth

	Participants ( <i>N</i> = 74)		Statistics	
	Swimmers ( <i>n</i> = 37)	Controls ( <i>n</i> = 37)	<i>p</i> -value ( <i>d</i> )	AUC-value
<i>Right arm reach</i>				
MD (cm)	84.8 ± 8.8	76.3 ± 10.6	<.001 (0.87)	.75
IL (cm)	83.1 ± 10.7	69.7 ± 9.8	<.001 (1.30)	.83
SL (cm)	67.9 ± 8.3	53.6 ± 7.8	<.001 (1.78)	.90
<i>Left arm reach</i>				
MD (cm)	83.6 ± 8.9	75.1 ± 10.0	<.001 (0.91)	.75
IL (cm)	82.8 ± 9.7	70.7 ± 10.5	<.001 (1.19)	.79
SL (cm)	64.3 ± 7.3	52.6 ± 8.6	<.001 (1.46)	.84
<i>Right arm reach</i>				
MD (% AL)	104.0 ± 8.4	94.5 ± 11.9	<.001 (0.92)	.73
IL (% AL)	102.2 ± 13.5	87.2 ± 16.6	<.001 (0.99)	.76
SL (% AL)	83.3 ± 9.3	67.0 ± 12.6	<.001 (1.48)	.85
CS (% AL)	96.0 ± 8.1	82.9 ± 12.1	<.001 (1.28)	.80
<i>Left arm reach</i>				
MD (% AL)	102.3 ± 6.8	92.7 ± 10.4	<.001 (1.09)	.78
IL (% AL)	101.8 ± 12.9	88.3 ± 17.5	<.001 (0.88)	.71
SL (% AL)	79.0 ± 9.4	65.8 ± 13.8	<.001 (1.11)	.77
CS (% AL)	94.8 ± 9.0	82.3 ± 12.3	<.001 (1.17)	.79

Data are mean ± standard deviation. Absolute values (cm) are shown first followed by relative values (% AL). Cohen's *d* [18] can be classified as being small ( $0 \leq d \leq 0.49$ ), medium ( $0.50 \leq d \leq 0.79$ ), or large ( $d \geq 0.80$ ). In accordance with Deyo and Conter [23], the AUC-value can lie between 0.5 ("no" discriminative validity) and 1.0 ("perfect" discriminative validity)

AL arm length, AUC area under the receiver operator characteristic (ROC) curve, CS composite score, IL inferolateral, MD medial, SL superolateral

With respect to the relative values (i.e., reach distance in % AL), we observed significant, large-sized differences in favour of swimmers for the MD ( $p < 0.001$ ,  $d = 0.92$ – $1.09$ ), IL ( $p < 0.001$ ,  $d = 0.88$ – $0.99$ ), and SL ( $p < 0.001$ ,  $d = 1.11$ – $1.48$ ) directions as well as for the CS ( $p < 0.001$ ,  $d = 1.17$ – $1.28$ ). In addition, AUC-values were 0.73 (MD), 0.76 (IL), 0.85 (SL), and 0.80 (CS) for the right and 0.78 (MD), 0.71 (IL), 0.77 (SL), and 0.79 (CS) for the left arm reach, respectively. In other words, there is a chance of 71–85% that the YBT-UQ is possible to distinguish between swimmers and age-/sex-matched untrained subjects.

## Discussion

To our knowledge, the present studies investigated discriminative validity of YBT-LQ/UQ performance between healthy trained and untrained youth for the first time. Main results for the relative/normalized measures (i.e., reach distance in % LL/AL) can be summarized as follows and were confirmed by the same analyses using the absolute/raw measures (i.e., reach distance in cm): (1) trained youth (i.e., soccer players and swimmers) showed large-sized significantly better YBT-LQ/UQ performance compared with age-/sex-matched untrained

controls; (2) ROC analyses revealed a chance of  $\geq 74\%$  (YBT-LQ) and  $\geq 71\%$  (YBT-UQ) to discriminate youth athletes from untrained youth.

In line with our hypothesis stating better performances in both tests for trained compared to untrained youth, one-way ANOVA revealed significantly larger absolute (cm) and relative (% LL/AL) YBT-LQ/UQ reach distances in trained participants (i.e., soccer players and swimmers) compared to age-/sex-matched controls. This result corresponds with findings from studies [3, 13–15, 24, 25] that investigated groups of athletes with varying levels of competition (e.g., high school vs. collegiate vs. professional players) and reported better relative YBT-LQ/UQ performance for those with a higher than for those with a lower competition level. However, besides the differences in competition level, the included persons also differed in age (i.e., adults versus adolescents), which might have influenced the results. In the present study, we included age-/sex-matched controls and results nonetheless showed better absolute and relative YBT-LQ/UQ-performance in trained compared to untrained youth. This finding is in line with a study by Engquist et al. [26] that investigated young adults (mean age:  $20 \pm 1.6$  years) and found larger YBT-LQ reach

distances in trained (i.e., female Division I student-athletes) compared to non-trained but same-aged (i.e., general female college students) individuals. Our findings and the results by Engquist and colleagues indicate that differences in absolute and relative YBT-LQ/UQ performance in age- and sex-matched individuals are based on training status and competition level. Additionally and also in accordance with our hypothesis stating good discriminative validity for the YBT-LQ/UQ in healthy youth, our ROC analysis for the relative data yielded a chance between 74 to 81% (YBT-LQ) and 71 to 85% (YBT-UQ) to discriminate youth athletes from age-/sex-matched untrained youth and this was confirmed using the absolute data. Thus, YBT-LQ (i.e., dynamic balance) and YBT-UQ (i.e., shoulder mobility/stability) demands seem to be associated with respective athletic requirements in soccer and swimming.

What might be the reason for performance differences in YBT-LQ/UQ between trained and age-/sex-matched untrained youth? One might argue that trained compared to non-trained youth possess a higher amount of long-lasting, continuous and intense training experience [27]. Another reason might be the genetic profile of trained individuals [28, 29]. For example, Murtagh et al. [28] investigated the relationship of multiple single nucleotide polymorphisms with physical performance measures in elite male youth soccer players and control participants. The authors observed differences in the genetic profile (e.g., higher genotype frequency distribution in soccer players) and showed that physical performance was associated with some measures of the genetic profile. Taken together, both preconditions cause specific adaptations [30, 31] that allow for higher performances in sport-specific as well as in physical fitness measures.

From a practical perspective, our findings of significantly better absolute and relative YBT-LQ/UQ values in trained compared to untrained youth and the good discriminative validity indicate that both tests can be used to distinguish between young athletes and age-/sex-matched controls based on dynamic balance (YBT-LQ) and shoulder mobility/stability (YBT-UQ) data. Consequently, both testing procedures can be used to discriminate persons with higher compared to lower levels of performance. This allows for the possibility to offer specifically tailored sport programs to support growing-ups according to their individual performance level, e.g., fitness promoting programs for low fit individuals and young athlete training regimens for high fit subjects.

Of note, our findings are limited to two cohorts (i.e., soccer players and swimmers). Both groups represent cohorts that are used to control their postural stability in challenging situations (i.e., soccer players) or to

maintain mobility/stability in their pectoral girdle and upper extremities (i.e., swimmers). Consequently, our findings cannot be generalized to other populations or sports and further research is needed to examine athletes from different disciplines or other cohorts.

## Conclusions

We investigated the discriminative validity of absolute and relative YBT-LQ/UQ performance between healthy trained (i.e., soccer players and swimmers) and untrained youth (i.e., age-/sex-matched controls) and found significantly better values for the former one as well as good discriminative validity for both tests. Our findings indicate that both, the YBT-LQ and the YBT-UQ are suitable field tests to effectively differentiate between trained and age-/sex-matched untrained youth based on dynamic balance (YBT-LQ) and shoulder mobility/stability (YBT-UQ) data.

## Abbreviations

AL: Arm length; ANOVA: Analysis of variance; AT: Anterior; AUC: Area under the receiver operator characteristic curve; BMI: Body mass index; CS: Composite score; IL: Inferolateral; LL: Leg length; MD: Medial; PHV: Peak height velocity; PL: Posterolateral; PM: Posteromedial; ROC: Receiver operator characteristic curve; SL: Superolateral; YBT-LQ: Lower Quarter Y Balance Test; YBT-UQ: Upper Quarter Y Balance Test

## Acknowledgements

Not applicable.

## Authors' contributions

GS, RB, and TM designed the research question. GS planned and conducted the testings and data collections. GS and TM analyzed the data. GS, RB, and TM wrote the main parts of the manuscript. All authors contributed to critical review of draft manuscripts and approved the final manuscript.

## Funding

We acknowledge support by the Open Access Publication Fund of the University of Duisburg-Essen. The funding body is independent of the design of the study and collection, analysis, and interpretation of data and in writing the manuscript. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

## Availability of data and materials

The data generated and analyzed during the present study are not publicly available due to ethical restrictions but are available from the corresponding author upon reasonable request.

## Ethics approval and consent to participate

Ethical permission was given by the Human Ethics Committee at the University of Duisburg-Essen, Faculty of Educational Sciences. Participants' assent and parents' written informed consent were obtained prior to the start of the study.

## Consent for publication

Not applicable.

## Competing interests

The authors declare that they have no competing interests. TM is an Associate Editor of the BMC Sports Science, Medicine, and Rehabilitation journal.

## Author details

<sup>1</sup>Division of Movement and Training Sciences/Biomechanics of Sport, University of Duisburg-Essen, Gladbecker Str. 182, 45141 Essen, Germany.

<sup>2</sup>Department of Health and Social Affairs, FHM Bielefeld - University of Applied Sciences, Bielefeld, Germany.

Received: 10 August 2020 Accepted: 9 November 2020

Published online: 03 December 2020

## References

1. Read PJ, Oliver JL, De Ste Croix MBA, Myer GD, Lloyd RS. A review of field-based assessments of neuromuscular control and their utility in male youth soccer players. *J Strength Cond Res.* 2019;33:283–99.
2. Borms D, Cools A. Upper-extremity functional performance tests: reference values for overhead athletes. *Int J Sports Med.* 2018;39:433–41.
3. Butler RJ, Southers C, Gorman PP, Kiesel KB, Plisky PJ. Differences in soccer players' dynamic balance across levels of competition. *J Athl Train.* 2012;47: 616–20.
4. Westrick RB, Miller JM, Carow SD, Gerber JP. Exploration of the y-balance test for assessment of upper quarter closed kinetic chain performance. *Int J Sports Phys Ther.* 2012;7:139–47.
5. Schwartz G, Brueckner D, Beurskens R, Muehlbauer T. Lower quarter Y balance test performance: reference values for healthy youth aged 10 to 17 years. *Gait Posture.* 2020;80:148–54.
6. Teyhen DS, Riebel MA, McArthur DR, Savini M, Jones MJ, Goffar SL, Kiesel KB, Plisky PJ. Normative data and the influence of age and gender on power, balance, flexibility, and functional movement in healthy service members. *Mil Med.* 2014;179:413–20.
7. Butler R, Arms J, Reiman M, Plisky P, Kiesel K, Taylor D, Queen R. Sex differences in dynamic closed kinetic chain upper quarter function in collegiate swimmers. *J Athl Train.* 2014;49:442–6.
8. Fusco A, Giancotti GF, Fuchs PX, Wagner H, da Silva RA, Cortis C. Y balance test: are we doing it right? *J Sci Med Sport.* 2020;23:194–9.
9. Gribble PA, Hertel J. Considerations for normalizing measures of the star excursion balance test. *Measure Phys Education Exerc Sci.* 2003;7:89–100.
10. Wilson BR, Robertson KE, Burnham JM, Yonz MC, Ireland ML, Noehren B. The relationship between hip strength and the Y balance test. *J Sport Rehabil.* 2018;27:445–50.
11. Read PJ, Oliver JL, Myer GD, Farooq A, De Ste CM, Lloyd RS. Utility of the anterior reach Y-balance test as an injury risk screening tool in elite male youth soccer players. *Phys Ther Sport.* 2020;45:103–10.
12. Kim Y, Lee JM, Wellsandt E, Rosen AB. Comparison of shoulder range of motion, strength, and upper quarter dynamic balance between NCAA division I overhead athletes with and without a history of shoulder injury. *Phys Ther Sport.* 2020;42:53–60.
13. Bullock GS, Arnold TW, Plisky PJ, Butler RJ. Basketball players' dynamic performance across competition levels. *J Strength Cond Res.* 2018;32:3528–33.
14. Bullock GS, Brookreson N, Knab AM, Butler RJ. Examining fundamental movement competency and closed-chain upper-extremity dynamic balance in swimmers. *J Strength Cond Res.* 2017;31:1544–51.
15. Kryszak S, Harnish CR, Plisky PJ, Knab AM, Bullock GS. Fundamental movement and dynamic balance disparities among varying skill levels in golfers. *Int J Sports Phys Ther.* 2019;14:537–45.
16. Balyi I, Way R, Higgs C. Long-term athlete development. Champaign: Human Kinetics; 2013.
17. Moore SA, McKay HA, Macdonald H, Nettlefold L, Baxter-Jones AD, Cameron N, Brasher PM. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47:1755–64.
18. Plisky PJ. Y balance test home study course; 2010.
19. Plisky PJ, Gorman PP, Butler RJ, Kiesel KB, Underwood FB, Elkins B. The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *N Am J Sports Phys Ther.* 2009;4:92–9.
20. Schwartz G, Brueckner D, Schedler S, Kiss R, Muehlbauer T. Performance and reliability of the lower quarter Y balance test in healthy adolescents from grade 6 to 11. *Gait Posture.* 2018;67:142–6.
21. Schwartz G, Brueckner D, Schedler S, Kiss R, Muehlbauer T. Reliability and minimal detectable change of the upper quarter Y balance test in healthy adolescents aged 12 to 17 years. *Int J Sports Phys Ther.* 2019;14:927–34.
22. Cohen J. Statistical power for the behavioral sciences. Hillsdale: Erlbaum; 1988.
23. Deyo RA, Centor RM. Assessing the responsiveness of functional scales to clinical change: an analogy to diagnostic test performance. *J Chronic Dis.* 1986;39:897–906.
24. Butler RJ, Bullock G, Arnold T, Plisky P, Queen R. Competition-level differences on the lower quarter Y-balance test in baseball players. *J Athl Train.* 2016;51:997–1002.
25. McCann RS, Kosik KB, Beard MQ, Terada M, Pietrosimone BG, Gribble PA. Variations in star excursion balance test performance between high school and collegiate football players. *J Strength Cond Res.* 2015;29:2765–70.
26. Engquist KD, Smith CA, Chimera NJ, Warren M. Performance comparison of student-athletes and general college students on the functional movement screen and the Y balance test. *J Strength Cond Res.* 2015;29:2296–303.
27. Araujo CG, Scharhag J. Athlete: a working definition for medical and health sciences research. *Scand J Med Sci Sports.* 2016;26:4–7.
28. Murtagh CF, Brownlee TE, Rienzi E, Roquero S, Moreno S, Huertas G, Lugioratto G, Baumert P, Turner DC, Lee D, et al. The genetic profile of elite youth soccer players and its association with power and speed depends on maturity status. *PLoS One.* 2020;15:e0234458.
29. Stastny P, Lehnert M, De Ste CM, Petr M, Svoboda Z, Maixnerova E, Varekova R, Botek M, Petrek M, Kocourkova L, et al. Effect of COL5A1, GDF5, and PPARA genes on a movement screen and neuromuscular performance in adolescent team sport athletes. *J Strength Cond Res.* 2019;33:2057–65.
30. Nakata H, Yoshie M, Miura A, Kudo K. Characteristics of the athletes' brain: evidence from neurophysiology and neuroimaging. *Brain Res Rev.* 2010;62: 197–211.
31. Yarrow K, Brown P, Krakauer JW. Inside the brain of an elite athlete: the neural processes that support high achievement in sports. *Nat Rev Neurosci.* 2009;10:585–96.

## Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more [biomedcentral.com/submissions](https://biomedcentral.com/submissions)



## Terms and Conditions

Springer Nature journal content, brought to you courtesy of Springer Nature Customer Service Center GmbH (“Springer Nature”).

Springer Nature supports a reasonable amount of sharing of research papers by authors, subscribers and authorised users (“Users”), for small-scale personal, non-commercial use provided that all copyright, trade and service marks and other proprietary notices are maintained. By accessing, sharing, receiving or otherwise using the Springer Nature journal content you agree to these terms of use (“Terms”). For these purposes, Springer Nature considers academic use (by researchers and students) to be non-commercial.

These Terms are supplementary and will apply in addition to any applicable website terms and conditions, a relevant site licence or a personal subscription. These Terms will prevail over any conflict or ambiguity with regards to the relevant terms, a site licence or a personal subscription (to the extent of the conflict or ambiguity only). For Creative Commons-licensed articles, the terms of the Creative Commons license used will apply.

We collect and use personal data to provide access to the Springer Nature journal content. We may also use these personal data internally within ResearchGate and Springer Nature and as agreed share it, in an anonymised way, for purposes of tracking, analysis and reporting. We will not otherwise disclose your personal data outside the ResearchGate or the Springer Nature group of companies unless we have your permission as detailed in the Privacy Policy.

While Users may use the Springer Nature journal content for small scale, personal non-commercial use, it is important to note that Users may not:

1. use such content for the purpose of providing other users with access on a regular or large scale basis or as a means to circumvent access control;
2. use such content where to do so would be considered a criminal or statutory offence in any jurisdiction, or gives rise to civil liability, or is otherwise unlawful;
3. falsely or misleadingly imply or suggest endorsement, approval, sponsorship, or association unless explicitly agreed to by Springer Nature in writing;
4. use bots or other automated methods to access the content or redirect messages
5. override any security feature or exclusionary protocol; or
6. share the content in order to create substitute for Springer Nature products or services or a systematic database of Springer Nature journal content.

In line with the restriction against commercial use, Springer Nature does not permit the creation of a product or service that creates revenue, royalties, rent or income from our content or its inclusion as part of a paid for service or for other commercial gain. Springer Nature journal content cannot be used for inter-library loans and librarians may not upload Springer Nature journal content on a large scale into their, or any other, institutional repository.

These terms of use are reviewed regularly and may be amended at any time. Springer Nature is not obligated to publish any information or content on this website and may remove it or features or functionality at our sole discretion, at any time with or without notice. Springer Nature may revoke this licence to you at any time and remove access to any copies of the Springer Nature journal content which have been saved.

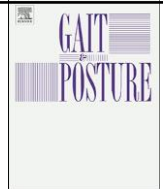
To the fullest extent permitted by law, Springer Nature makes no warranties, representations or guarantees to Users, either express or implied with respect to the Springer nature journal content and all parties disclaim and waive any implied warranties or warranties imposed by law, including merchantability or fitness for any particular purpose.

Please note that these rights do not automatically extend to content, data or other material published by Springer Nature that may be licensed from third parties.

If you would like to use or distribute our Springer Nature journal content to a wider audience or on a regular basis or in any other manner not expressly permitted by these Terms, please contact Springer Nature at

[onlineservice@springernature.com](mailto:onlineservice@springernature.com)





Full length article

## Performance and reliability of the Lower Quarter Y Balance Test in healthy adolescents from grade 6 to 11

Gerrit Schwiertz<sup>a</sup>, Dennis Brueckner<sup>a</sup>, Simon Schedler<sup>a</sup>, Rainer Kiss<sup>b</sup>, Thomas Muehlbauer<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Division of Movement and Training Sciences/Biomechanics of Sport, University of Duisburg-Essen, Essen, Germany

<sup>b</sup> Department of Health and Social Affairs, FHM Bielefeld - University of Applied Sciences, Bielefeld, Germany



### ARTICLE INFO

**Keywords:** Postural control  
Dynamic balance  
Reproducibility  
Practical relevance  
Youth  
School setting

### ABSTRACT

**Background:** The Lower Quarter Y Balance Test (YBT-LQ) has been widely used in the field to assess dynamic balance performance in various populations. However, no study has demonstrated test-retest reliability of the YBT-LQ in adolescents including several age cohorts, even though reliability is necessary to provide repeatable performance data.

**Objective:** Thus, we examined test-retest reliability of the YBT-LQ in healthy adolescents.

**Methods:** In a school setting, 178 secondary school students (93 female, 85 male) in sixth to eleventh grades (11–19 years) performed the YBT-LQ twice, 7 days apart. Normalized maximal reach distances (% leg length) for all three directions (i.e., anterior, posterolateral, posteromedial) and both legs and the composite score were used as outcome measures. Intraclass correlation coefficient (ICC<sub>3,1</sub>) and standard error of measurement (SEM) were calculated to assess relative and absolute test-retest reliability, respectively. Practical relevance of the YBT-LQ was determined by calculating the minimal detectable change (MDC<sub>95%</sub>).

**Results:** Irrespective of grade, test-retest reliability for all distances reached was predominately "excellent" (i.e., ICC<sub>3,1</sub> > 0.75) and the rather small SEM values ranged from 1.77 to 5.81%. Depending on grade and reach direction, MDC values of 4.90 to 16.10% represent the minimum amount of change needed to identify clinically relevant effects in repeated measurements of the YBT-LQ performance.

**Conclusions:** The observed values suggest that the YBT-LQ is a reliable test and suitable to detect changes of dynamic balance performance in healthy adolescents from grade six to eleven (i.e., aged 11–19 years).

### 1. Introduction

In everyday life as well as in sports-related activities, dynamic balance performance (i.e., the ability to maintain postural stability while the body parts are in motion) represents an important determinant to safely manage weekday activities and to specify the risk of sustaining lower limb injuries in youth [1]. Therefore, dynamic balance tests are frequently applied to investigate age- and training-related adaptations in balance during childhood and adolescence [2,3]. A well-established field-based method to investigate dynamic balance performance is the Lower Quarter Y Balance Test (YBT-LQ) [4]. During the YBT-LQ, participants maintain one-legged stance while reaching as far as possible with the contralateral leg in anterior (AT), posteromedial (PM), and posterolateral (PL) directions. Subsequently, dynamic balance performance can be determined by calculating the maximal reach distance in relation to the subject's leg length.

Previous studies [5–7] on the test-retest reliability of the YBT-LQ mainly investigated young adults. However, only a few studies exist that examined this issue in youth. Specifically, Faigenbaum et al. [8] examined test-retest reliability of the YBT-LQ in 188 children (6.9 to 12.1 years) in first through fifth grades and found intraclass correlation coefficients (ICC) ranging between "poor" and "excellent" (i.e., 0.38–0.80); irrespective of reach direction. Further, Calatayud et al. [9] determined test-retest reliability in 24 children aged 11.0 ± 0.8 years. ICC values ranged from "moderate-to-good" to "excellent" (i.e., 0.51–0.93) for all three-reach directions. Lastly, Linek et al. [10] investigated test-retest reliability in 38 male adolescent soccer players aged 14–17 years. Irrespective of the reach direction considered, findings yielded ICC values ranging between "moderate-to-good" and "excellent" (i.e., 0.57–0.82). Translating these findings in children and physically trained youth athletes to a common cohort of adolescents appears to be disputable, given that development of dynamic balance

\* Corresponding author at: University of Duisburg-Essen, Division of Movement and Training Sciences/Biomechanics of Sport, Gladbecker Str. 182, 45141 Essen, Germany.

E-mail address: [thomas.muehlbauer@uni-due.de](mailto:thomas.muehlbauer@uni-due.de) (T. Muehlbauer).

<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.10.011>

Received 5 July 2018; Received in revised form 17 September 2018; Accepted 9 October 2018

significantly differs between children and adolescents as well as trained and untrained youth. In this regard, several studies [11–14] indicated that adolescents and trained youth show better dynamic balance performance compared to children and untrained peers, respectively. To the best of our knowledge, there is no study available that investigated the reproducibility of the YBT-LQ in healthy adolescents including males and females from several age cohorts. Therefore, the purpose of the present study was to determine test-retest reliability of the YBT-LQ in healthy adolescents from grade six to eleven (i.e., aged 11–19 years). With reference to the relevant literature [8–10], we expected that the YBT-LQ would be a reproducible test for the assessment of dynamic balance in this population.

## 2. Methods

### 2.1. Subjects

Participants were a sample of 178 adolescents attending an urban public school. Healthy adolescents (93 female, 85 male) in grades six ( $n = 13$ ;  $11.6 \pm 0.5$  years), seven ( $n = 15$ ;  $12.4 \pm 0.5$  years), eight ( $n = 41$ ;  $13.3 \pm 0.6$  years), nine ( $n = 48$ ;  $14.6 \pm 0.7$  years), ten ( $n = 34$ ;  $15.6 \pm 0.8$  years), and eleven ( $n = 27$ ;  $16.8 \pm 0.7$  years) volunteered to participate after experimental procedures were explained (Table 1). No subjects had prior experience performing the YBT-LQ. Students were excluded from participation if they had (1) a musculoskeletal, neurological or orthopedic disorder or (2) other medical conditions that could have affected their ability to execute the YBT-LQ. Participants' assent and parents' written informed consent was obtained prior to the start of the study. The Human Ethics Committee at the University of Duisburg-Essen, Faculty of Educational Sciences approved the study protocol.

### 2.2. Procedures

All participants performed the YBT-LQ twice, separated by seven days during the physical education class in the school setting. Upon entering the testing room, all participants received standardized verbal instructions and a visual demonstration regarding the testing procedure that included the measurement of anthropometric variables followed by performance assessment in the YBT-LQ.

#### 2.2.1. Anthropometry

Body height was determined without shoes to the nearest 0.5 cm with a stadiometer (seca 217, Basel, Switzerland). Further, body mass was measured in light clothing and without shoes to the nearest 100 g with an electronic scale (seca 803, Basel, Switzerland). Body mass index

was calculated using body mass divided by height squared ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Length of the left and right leg was determined by measuring the distance from the anterior superior iliac spine to the most distal aspect of the medial malleolus with the participant lying supine [6].

#### 2.2.2. Lower Quarter Y Balance Test

YBT-LQ performance was assessed using the commercially available Y Balance Test Kit (Functional Movement Systems, Chatham, USA) that was positioned on the floor. The Y Balance Test Kit consists of a centralized stance platform to which three pipes are attached that represent the AT, PM, and PL reach directions. Each pipe is marked in 0.5-cm increments for measurement purposes and equipped with a moveable reach indicator. Each participant was instructed to reach with one leg as far as possible while maintaining his/her balance in the AT, PM, and PL directions while standing without shoes on the stance platform. The YBT-LQ was performed with the left and right leg. Each participant was instructed to perform three practice trials followed by three data-collection trials. Following the recommendations by Plisky et al. [6], participants started with the right leg placed behind the red starting line of the stance platform and the left leg touching and moving the reach indicator with the most distal part of the foot. Afterwards, the participants returned to a bipedal stance position. The specific testing orders were as follows: 1) right leg stance and reaching with the left leg in the AT direction, 2) left leg stance and reaching with the right leg in the AT direction, 3) right leg stance and reaching with the left leg in the PM direction, 4) left leg stance and reaching with the right leg in the PM direction, 5) right leg stance and reaching with the left leg in the PL direction, and 6) left leg stance and reaching with the right leg in the PL direction. An examiner documented the distance (i.e., from the center of the stance platform to the maximal reach indicator distance) after each reach to the nearest 0.5 cm. Trials were discarded and repeated until a total of three valid trials were achieved if the participants: a) lost their balance (i.e., stepped with the reach leg on the ground) at any point during the trial, b) lifted the stance leg from the stance platform, c) stepped on top of the reach indicator for support, or d) kicked the reach indicator. All examiners had experience administering the YBT-LQ protocol. The normalized maximal reach distance per reach direction and leg was calculated as follows and used as an outcome measure (Eq. (1)):

$$\text{normalized maximal reach distance (\% leg length [LL])} = \frac{\text{absolute maximal reach distance [cm]}}{\text{LL [cm]}} \times 100. \quad (1)$$

Further, the normalized composite score ([CS] i.e., sum of the three maximal reach distances per reach direction per leg) was calculated by using the following formula provided by Filipa et al. [3] and additionally used as outcome measure (Eq. (2)):

**Table 1**

Characteristics of the study participants by grade.

Grade (yrs)	Age	Sex (f/m)	Height (cm)	Mass (kg)	BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	Length (cm)	
						Left leg	Right leg
6 <sup>th</sup> ( $n = 13$ )	$11.6 \pm 0.5$	7/6	$151.6 \pm 11.0$	$42.7 \pm 6.6$	$17.8 \pm 5.9$	$81.2 \pm 5.5$	$81.6 \pm 5.0$
7 <sup>th</sup> ( $n = 15$ )	$12.4 \pm 0.5$	8/7	$159.1 \pm 8.0$	$62.1 \pm 16.2$	$24.4 \pm 5.5$	$87.1 \pm 6.3$	$87.1 \pm 6.1$
8 <sup>th</sup> ( $n = 41$ )	$13.3 \pm 0.6$	18/23	$167.2 \pm 9.1$	$55.5 \pm 10.8$	$19.8 \pm 2.8$	$89.9 \pm 6.1$	$90.3 \pm 6.1$
9 <sup>th</sup> ( $n = 48$ )	$14.6 \pm 0.7$	20/28	$174.3 \pm 9.4$	$61.3 \pm 12.3$	$20.0 \pm 2.8$	$95.6 \pm 5.8$	$95.0 \pm 5.5$
10 <sup>th</sup> ( $n = 34$ )	$15.6 \pm 0.8$	20/14	$172.7 \pm 9.8$	$58.7 \pm 7.7$	$19.9 \pm 2.2$	$92.2 \pm 6.3$	$92.0 \pm 6.6$
11 <sup>th</sup> ( $n = 27$ )	$16.8 \pm 0.7$	20/7	$175.6 \pm 7.5$	$64.3 \pm 9.1$	$21.0 \pm 2.1$	$92.4 \pm 5.7$	$92.8 \pm 5.5$

Values are mean values  $\pm$  standard deviations. BMI = body mass index; f = female; m = male.

$$CS (\% LL) = ((AT + PM + PL) / (LL \times 3)) \times 100. \tag{2}$$

### 2.3. Statistical analyses

Group mean values  $\pm$  standard deviations (SD) were calculated for the maximum distance reached in each direction for both legs. Relative reliability (i.e., the degree to which individuals maintain their position in a sample with repeated measurements) was determined using the ICC<sub>3,1</sub> and the 95% confidence interval (CI) [15]. Using the classification of Fleiss [16], ICC > 0.75 was considered "excellent", 0.40 < ICC < 0.75 was considered "moderate-to-good", and ICC < 0.40 was considered "poor". The absolute reliability of the data (i.e., the degree to which repeated measurements vary for individuals) was assessed using the standard error of measurement (SEM) that estimates the amount of error related with the measurement [15]. The formula for the calculation is (Eq. (3)):

$$SEM = pooled\ SD * (\sqrt{1-ICC}) \tag{3}$$

The lower the SEM value, the more reliable the measurement. Further, practical significance of the YBT-LQ was determined by calculating the minimal detectable change (MDC<sub>95%</sub>), which is needed to identify clinically relevant effects between repeated measurements of one subject [15,17]. In other words, the MDC<sub>95%</sub> provides information about the minimal threshold of a measurement to ensure that differences between test and retest measurements were real and outside the error range. The corresponding formula is as follows (Eq. (4)):

$$MDC_{95\%} = SEM * 1.96 * \sqrt{2} \tag{4}$$

Analyses were carried out using Statistical Package for Social Sciences (SPSS) version 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL).

### 3. Results

Means and SDs for the normalized (% LL) YBT-LQ performance by grade are presented in Table 2. Irrespective of grade, ICC<sub>3,1</sub> values for the three reach directions ranged between 0.40 and 0.96 (Table 3), which is indicative of "moderate-to-good" to "excellent" test-retest reliability. Moreover, the highest ICC values (0.83 to 0.96) were detected for the CS in both legs. In addition, the SEM values ranged from 2.11% to 4.93% for grade 6, from 1.79% to 5.52% for grade 7, from 2.84% to 4.98% for grade 8, from 2.92% to 5.81% for grade 9, from 2.55% to 4.53% for grade 10, and from 1.77% to 4.20% for grade 11 (Table 3). Further, the MDC<sub>95%</sub> values ranged from 5.86% to 13.66% for grade 6, from 4.95% to 15.30% for grade 7, from 7.87% to 13.80% for grade 8, from 8.11% to 16.10% for grade 9, from 7.07% to 12.55% for grade 10, and from 4.90% to 11.64% for grade 11 (Table 4).

### 4. Discussion

The present study investigated test-retest reliability of the YBT-LQ in a sample of 178 healthy female and male adolescents from grade six to eleven. In this regard, we compared YBT-LQ performance for all three directions and both legs on two occasions in a field-based school setting. In accordance with our hypothesis, that the YBT-LQ would be a reliable test to assess dynamic balance in school-aged youth, we found "moderate-to-good" to "excellent" ICC values (i.e., 0.40 to 0.96) and rather smaller SEM values ranging between 1.77 and 5.81%. Further MDC<sub>95%</sub> values, which represent the change needed to identify clinically relevant effects between repeated measures ranged from 4.90 to 16.10%.

In terms of relative and absolute test-retest reliability, our findings are in line with the literature [8–10]. In a previous study, Linek et al. [10] investigated semi-professional adolescent soccer players and reported ICC values between 0.57 and 0.82 for the three reach directions indicating "moderate-to-good" to "excellent" reliability. The

**Table 2**  
Lower Quarter Y Balance Test (YBT-LQ) performance data for the test and retest assessment by grade.

	6 <sup>th</sup>		7 <sup>th</sup>		8 <sup>th</sup>		9 <sup>th</sup>		10 <sup>th</sup>		11 <sup>th</sup>	
	Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest
Left leg stance												
AT (% LL)	75.4 $\pm$ 6.2	73.9 $\pm$ 9.1	70.1 $\pm$ 6.2	68.9 $\pm$ 8.2	74.4 $\pm$ 9.3	73.5 $\pm$ 11.8	72.6 $\pm$ 9.1	72.8 $\pm$ 7.7	76.1 $\pm$ 10.2	75.3 $\pm$ 8.4	72.8 $\pm$ 7.0	72.7 $\pm$ 7.5
PM (% LL)	107.4 $\pm$ 18.0	106.1 $\pm$ 16.1	99.9 $\pm$ 10.5	102.5 $\pm$ 10.8	108.3 $\pm$ 13.1	108.5 $\pm$ 10.8	109.2 $\pm$ 11.9	112.4 $\pm$ 12.4	114.0 $\pm$ 13.5	114.9 $\pm$ 12.5	111.0 $\pm$ 10.8	112.8 $\pm$ 8.6
PL (% LL)	107.7 $\pm$ 16.2	108.6 $\pm$ 17.0	101.2 $\pm$ 11.3	103.6 $\pm$ 12.3	104.2 $\pm$ 13.1	103.0 $\pm$ 13.2	104.7 $\pm$ 11.5	108.1 $\pm$ 12.6	108.8 $\pm$ 12.3	108.9 $\pm$ 10.3	109.4 $\pm$ 10.3	109.9 $\pm$ 7.9
CS (% LL)	96.8 $\pm$ 12.7	96.2 $\pm$ 13.1	90.4 $\pm$ 8.6	91.7 $\pm$ 9.5	95.6 $\pm$ 10.6	95.1 $\pm$ 10.4	95.5 $\pm$ 9.5	97.8 $\pm$ 9.8	99.6 $\pm$ 10.6	99.7 $\pm$ 8.5	97.7 $\pm$ 8.1	98.8 $\pm$ 7.1
Right leg stance												
AT (% LL)	74.2 $\pm$ 5.1	70.7 $\pm$ 7.9	69.1 $\pm$ 6.4	69.0 $\pm$ 6.5	72.9 $\pm$ 10.1	71.9 $\pm$ 12.4	70.5 $\pm$ 6.6	71.9 $\pm$ 6.3	74.5 $\pm$ 6.6	73.9 $\pm$ 8.6	71.9 $\pm$ 5.6	72.3 $\pm$ 6.4
PM (% LL)	104.1 $\pm$ 12.5	102.8 $\pm$ 15.5	99.4 $\pm$ 10.9	100.5 $\pm$ 9.2	107.7 $\pm$ 13.7	107.5 $\pm$ 11.0	108.0 $\pm$ 10.2	112.3 $\pm$ 12.2	112.1 $\pm$ 14.3	112.6 $\pm$ 12.7	111.1 $\pm$ 10.3	112.8 $\pm$ 8.6
PL (% LL)	106.7 $\pm$ 15.9	104.8 $\pm$ 15.6	96.8 $\pm$ 10.5	98.0 $\pm$ 12.4	103.5 $\pm$ 13.0	103.6 $\pm$ 10.3	103.0 $\pm$ 13.0	108.5 $\pm$ 13.6	110.6 $\pm$ 13.3	110.9 $\pm$ 14.6	106.8 $\pm$ 10.2	108.0 $\pm$ 7.8
CS (% LL)	95.0 $\pm$ 10.7	92.8 $\pm$ 12.0	88.4 $\pm$ 7.6	89.2 $\pm$ 8.0	94.7 $\pm$ 11.1	94.3 $\pm$ 9.8	93.8 $\pm$ 8.8	97.6 $\pm$ 9.6	99.1 $\pm$ 10.1	99.1 $\pm$ 10.5	96.6 $\pm$ 7.5	97.7 $\pm$ 6.5

Values are mean values  $\pm$  standard deviations. AT = anterior; CS = composite score; LL = leg length; PL = posterolateral; PM = posteromedial.

**Table 3**  
Intraclass correlation coefficient with 95% confidence interval and standard error of measurement by grade.

	6 <sup>th</sup>		7 <sup>th</sup>		8 <sup>th</sup>		9 <sup>th</sup>		10 <sup>th</sup>		11 <sup>th</sup>	
	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)
<b>Left leg stance</b>												
AT (% LL)	0.78 (0.27-0.93)	3.62	0.90 (0.71-0.97)	2.24	0.88 (0.77-0.93)	3.72	0.74 (0.54-0.86)	4.26	0.76 (0.52-0.88)	4.53	0.92 (0.82-0.96)	2.04
PM (% LL)	0.93 (0.78-0.98)	4.33	0.96 (0.87-0.99)	2.21	0.87 (-0.76-0.93)	4.31	0.86 (0.74-0.92)	4.63	0.93 (0.87-0.97)	3.34	0.86 (0.68-0.93)	3.69
PL (% LL)	0.96 (0.87-0.99)	3.21	0.95 (0.84-0.98)	2.71	0.87 (0.75-0.93)	4.81	0.89 (0.80-0.94)	4.05	0.92 (0.83-0.96)	3.26	0.83 (0.63-0.92)	3.73
CS (% LL)	0.97 (0.91-0.99)	2.11	0.96 (0.88-0.99)	1.79	0.93 (0.86-0.96)	2.84	0.91 (0.84-0.95)	2.92	0.92 (0.85-0.96)	2.63	0.95 (0.88-0.98)	1.77
<b>Right leg stance</b>												
AT (% LL)	0.79 (0.31-0.94)	3.10	0.40 (-0.80-0.80)	4.93	0.84 (0.71-0.92)	4.46	0.69 (0.45-0.83)	3.62	0.83 (0.66-0.92)	3.14	0.71 (0.36-0.87)	3.22
PM (% LL)	0.87 (0.59-0.96)	4.93	0.69 (0.82-0.90)	5.52	0.89 (0.80-0.94)	4.04	0.74 (0.53-0.85)	5.81	0.91 (0.83-0.96)	3.96	0.93 (0.84-0.97)	2.52
PL (% LL)	0.93 (0.77-0.98)	4.15	0.92 (0.76-0.97)	3.19	0.82 (0.66-0.90)	4.98	0.83 (0.70-0.91)	5.52	0.94 (0.88-0.97)	3.33	0.78 (0.53-0.90)	4.20
CS (% LL)	0.94 (0.81-0.98)	2.69	0.83 (0.50-0.94)	3.15	0.92 (0.85-0.96)	2.97	0.83 (0.69-0.90)	3.92	0.94 (0.88-0.97)	2.55	0.89 (0.76-0.95)	2.30

AT = anterior; CI = confidence interval; CS = composite score; ICC<sub>3,1</sub> = intraclass correlation coefficient; LL = leg length; PL = posterolateral; PM = posteromedial; SEM = standard error of measurement.

**Table 4**  
Minimal detectable change (MDC<sub>95%</sub>) by grade.

	6 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	8 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	10 <sup>th</sup>	11 <sup>th</sup>
<b>Left leg stance</b>						
AT (% LL)	10.02	6.22	10.31	11.80	12.55	5.65
PM (% LL)	12.01	6.14	11.95	12.82	9.27	10.24
PL (% LL)	8.91	7.52	13.34	11.24	9.02	10.33
CS (% L)	5.86	4.95	7.87	8.11	7.29	4.90
<b>Right leg stance</b>						
AT (% LL)	8.59	13.67	12.35	10.03	8.72	8.92
PM (% LL)	13.66	15.30	11.20	16.10	10.98	6.97
PL (% LL)	11.50	8.85	13.80	15.29	9.24	11.64
CS (% LL)	7.46	8.72	8.22	10.86	7.07	6.38

AT = anterior; CS = composite score; LL = leg length; PL = posterolateral; PM = posteromedial.

corresponding SEM values ranged from 3.30 to 5.90%. Further, Calatayud et al. [9] studied primary school children and observed ICC values for the three reach directions ranging from 0.51 to 0.93 that are indicative of "moderate-to-good" to "excellent" reliability. The additionally reported SEM values ranged from 3.03 to 12.32%. Lastly, Faigenbaum et al. [8] detected ICC values for the three reach directions in children that ranged from "poor" to "excellent" (i.e., 0.38 to 0.80). Our findings and the results of the aforementioned studies imply that the YBT-LQ is a reproducible test for the assessment of dynamic balance performance, especially in adolescents. Of note, we detected the largest ICC / lowest SEM values for the CS in both legs. This finding is most likely based on the higher number of data points compared to the measurements of each leg individually. In order to calculate the CS, three (i.e., AT, PM, PL) instead of only one reach direction were used for calculations. Thus, practitioners are advised to use the CS to evaluate dynamic balance performance in healthy adolescents because this parameter showed the most reliable results.

The minimal amount of change score outside of measurement error that may reflect true change (MDC<sub>95%</sub>) ranged between 4.90 and 16.10%. Compared to other studies, our values are close to those (7.68 to 13.70%) reported by Linek et al. [10] and better than those (8.4 to 34.2%) stated by Calatayud et al. [9]. The differences between our values and those of Linek et al. [10] compared to Calatayud et al. [9] might be based on the investigated cohort. Our study as well as the study by Linek and colleagues [10] used adolescents while Calatayud and colleagues [9] investigated children. The latter might show worse capabilities to reliably perform the YBT-LQ compared to adolescents. From a practical perspective, our obtained MDC<sub>95%</sub> values ranging from 4.90 to 16.10% suggest that this is the minimum amount of change needed to exist between pre- and post-testing YBT-LQ performance scores for a change to be practically significant. In this regard, several studies [3,18,19] showed training-related changes that were in this range. For example, Muehlbauer et al. [18] investigated the impact of four weeks of inline skating exercise on YBT-LQ performance in healthy students aged 11 to 12 years. The authors reported significant improvements of 17 to 48% for the intervention compared to the control group.

**5. Conclusions**

Our findings of predominately "excellent" ICC scores (relative re-liability), and rather low SEM values (absolute reliability), indicate that the YBT-LQ is a reproducible test for the assessment of dynamic balance in healthy female and male adolescents from grade 6 to 11. The obtained MDC<sub>95%</sub> values ranging from 4.90 to 16.10% represent the minimal threshold that is needed to detect clinically relevant effects between repeated measurements of the YBT-LQ performance.

None of the authors has any conflicts of interest.

### Acknowledgements

The authors wish to acknowledge the contributions to participant recruitment and data collection made by Sebastian Elbers, Florian Engels, and Tobias Ridder.

### References

- [1] P.J. Plisky, M.J. Rauh, T.W. Kaminski, F.B. Underwood, Star excursion balance test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players, *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 36 (2006) 911–919.
- [2] G.S. Bullock, T.W. Arnold, P.J. Plisky, R.J. Butler, Basketball players' dynamic performance across competition levels, *J. Strength Cond. Res.* (2018).
- [3] A. Filipa, R. Byrnes, M.V. Paterno, G.D. Myer, T.E. Hewett, Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes, *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 40 (2010) 551–558.
- [4] P.J. Read, J.L. Oliver, M.B.A. De Ste Croix, G.D. Myer, R.S. Lloyd, A review of field-based assessments of neuromuscular control and their utility in male youth soccer players, *J. Strength Cond. Res.* (2017).
- [5] L.J. Smith, J.R. Creps, R. Bean, B. Rodda, B. Alsalaheen, Performance and reliability of the Y-balance test in high school athletes, *J. Sports Med. Phys. Fitness* (2017).
- [6] P.J. Plisky, P.P. Gorman, R.J. Butler, K.B. Kiesel, F.B. Underwood, B. Elkins, The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test, *N. Am. J. Sports Phys. Ther.* 4 (2009) 92–99.
- [7] D. Lopez-Plaza, C. Juan-Recio, D. Barbado, I. Ruiz-Perez, F.J. Vera-Garcia, Reliability of the star excursion balance test and two new similar protocols to measure trunk postural control, *PM R* (2018).
- [8] A.D. Faigenbaum, G.D. Myer, I.P. Fernandez, E.G. Carrasco, N. Bates, A. Farrell, N.A. Ratamess, J. Kang, Feasibility and reliability of dynamic postural control measures in children in first through fifth grades, *Int. J. Sports Phys. Ther.* 9 (2014) 140–148.
- [9] J. Calatayud, S. Borreani, J.C. Colado, F. Martin, J. Flandez, Test-retest reliability of the star excursion balance test in primary school children, *Phys. Sportsmed.* 42 (2014) 120–124.
- [10] P. Linek, D. Sikora, T. Wolny, E. Saulicz, Reliability and number of trials of Y balance test in adolescent athletes, *Musculoskelet. Sci. Pract.* 31 (2017) 72–75.
- [11] J. Muller, S. Muller, H. Baur, F. Mayer, Intra-individual gait speed variability in healthy children aged 1–15 years, *Gait Posture* 38 (2013) 631–636.
- [12] S.R. Menkveld, E.A. Knipstein, J.R. Quinn, Analysis of gait patterns in normal school-aged children, *J. Pediatr. Orthop.* 8 (1988) 263–267.
- [13] K. Witkowski, J. Maslinski, A. Remiarz, Static and dynamic balance in 14–15 year old boys training judo and in their non-active peers, *Arch. Budo* 10 (2014) 12–24.
- [14] M. Mostaert, F. Deconinck, J. Pion, M. Lenoir, Anthropometry, physical fitness and coordination of young figure skaters of different levels, *Int. J. Sports Med.* 37 (2016) 531–538.
- [15] J.P. Weir, Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM, *J. Strength Cond. Res.* 19 (2005) 231–240.
- [16] J.L. Fleiss, Reliability of Measurement. The Design and Analysis of Clinical Experiments, Wiley, New York, 1986.
- [17] S.M. Haley, M.A. Fragala-Pinkham, Interpreting change scores of tests and measures used in physical therapy, *Phys. Ther.* 86 (2006) 735–743.
- [18] T. Muehlbauer, M. Kuehnen, U. Granacher, Inline skating for balance and strength promotion in children during physical education, *Percept. Mot. Skills* 117 (2013) 665–681.
- [19] R. Hammami, U. Granacher, I. Makhlof, D.G. Behm, A. Chaouachi, Sequencing effects of balance and plyometric training on physical performance in youth soccer athletes, *J. Strength Cond. Res.* 30 (2016) 3278–3289.

ORIGINAL RESEARCH  
**RELIABILITY AND MINIMAL DETECTABLE CHANGE OF THE UPPER QUARTER Y-BALANCE TEST IN HEALTHY ADOLESCENTS AGED 12 TO 17 YEARS**

Gerrit Schwiertz<sup>1</sup> Dennis  
Brueckner<sup>1</sup> Simon  
Schedler<sup>1</sup> Rainer Kiss<sup>2</sup>  
Thomas Muehlbauer<sup>1</sup>

**ABSTRACT**

**Purpose/Background:** There are a few studies investigating the reproducibility of the Upper Quarter Y Balance Test (YBT-UQ) in adults. However, no study has determined test-retest reliability and the minimal detectable change of the YBT-UQ in adolescents from different age cohorts. The aim of the present study was to establish test-retest reliability and minimal detectable change of the YBT-UQ in a sample of healthy adolescents.

**Methods:** In a school setting, 111 students (59 female, 52 male) aged 12-17 years performed the YBT-UQ twice, separated by one week. Normalized maximal reach distances (% arm length) for all three directions (i.e., medial, inferolateral, superolateral) and the composite score were used as outcome measures. Intra-class correlation coefficient (ICC<sub>3,1</sub>) and standard error of measurement (SEM) were calculated to assess both relative and absolute test-retest reliability. In addition, the minimal detectable change (MDC<sub>95%</sub>), an index that is defined as the minimal amount of change in performance that falls outside the measurement error or performance changes due to variability was determined.

**Results:** Irrespective of age cohort, reach arm, and reach direction, the measure of relative reliability ranged from “moderate-to-good” to “excellent” ICC values and the proxy of absolute reliability was rather small (i.e., SEM ≤ 7.6%). The MDC<sub>95%</sub> needed to identify relevant effects in repeated measurements of the YBT-UQ performance ranged between 4.8% and 21.1%, depending on age, reach arm, and reach direction.

**Conclusions:** The detected values imply that the YBT-UQ is a reliable field test that can be used to detect changes of upper quarter mobility/stability in healthy adolescents aged 12-17 years.

**Level of Evidence:** 2b

**Key Words:** adolescent, motor control, movement system, practical relevance, reproducibility, school setting, upper quarter mobility/stability

<sup>1</sup> Division of Movement and Training Sciences/Biomechanics of Sport, University of Duisburg-Essen, Essen, Germany

<sup>2</sup> Department of Health and Social Affairs, FHM Bielefeld - University of Applied Sciences, Bielefeld, Germany

**Conflict of interest statement:** The authors declare that they have no conflict of interest.

**CORRESPONDING AUTHOR**

Prof. Thomas Muehlbauer, PhD  
University of Duisburg-Essen  
Division of Movement and Training  
Sciences/Biomechanics of Sport  
Gladbecker Str. 182  
45141 Essen, Germany  
Fon: +49-(0)201 183 7333  
Fax: +49-(0)201 1837309  
Email: thomas.muehlbauer@uni-due.de



## INTRODUCTION

The Upper Quarter Y Balance Test (YBT-UQ) is a field-based method used to investigate upper quarter mobility and stability.<sup>1-3</sup> From a practical perspective it is important to know whether the results obtained from the YBT-UQ are reliable. In other words, to be certain that differences between test and retest assessment of YBT-UQ performance can be considered “real” and outside the error range, reliable measures on an individual’s performance are needed.<sup>4</sup> Further, distinct ranges of meaningful change need to be established. This allows practitioners to derive an accurate evaluation on the magnitude of changes between repeated YBT-UQ performance assessments.

Previous studies<sup>1,2</sup> on the test-retest reliability of the YBT-UQ have investigated healthy young adults, only. For example, Gorman et al.<sup>1</sup> examined test-retest reliability (between-test period: 20 minutes) of the YBT-UQ in 22 subjects (10 men, 12 women) aged 19-47 years and found “excellent” intraclass correlation coefficients (ICC) ranging between 0.80-0.99; irrespective of reach direction. Further, Westrick et al.<sup>2</sup> determined test-retest reliability (between-test period: 28 days) in 13 subjects. The obtained ICC values ranged from 0.91-0.92, which is indicative of “excellent” reproducibility. However, transferring these results obtained from adults to adolescents appears to be questionable, given that anthropometric and physiological differences due to growth and maturation exist.<sup>5</sup> As a consequence, performance levels achieved during the assessment of upper quarter mobility and stability may differ between age groups. For example, Borms and Cools<sup>3</sup> showed age-related differences in upper-extremity functional performance (i.e., YBT-UQ, Closed Kinetic Chain Upper Extremity Stability test, Seated Medicine Ball Throw test) in 206 adults (age range: 18-50 years). For the YBT-UQ, the 18- to 25-year-olds showed significantly better performance data compared to the 26- to 33-year-olds and the 34- to 50-year-olds, indicating an age-related reduction of upper-extremity function.

There is no study available that has determined test-retest reliability and minimal detectable change of the YBT-UQ in healthy adolescents including males and females from several age cohorts. Given

the anthropometric and physiological differences between adolescents and adults, the aim of the present study was to establish test-retest reliability and minimal detectable change of the YBT-UQ in a sample of healthy adolescents aged 12-17 years.

## METHODS

### Participants

One-hundred twenty students in grades 6-11 (i.e., 12-17 years) were recruited from randomly chosen urban public schools. The characteristics of the students are shown in Table 1. Students were excluded from study participation if they (1) were outside of the aforementioned age range, (2) had a musculoskeletal, neurological or orthopedic disorder during the last three months prior to the beginning of the study, (3) had other medical conditions that could have affected their ability to execute the YBT-UQ or (4) performed the test or retest only. Nine students were excluded from study participation because they performed only the test / retest (n=3) or were below (n=3) / above (n=3) the age range. As a consequence, 111 (93%) of the initially recruited subjects were included in the present study. Prior to the start of the study, participants’ assent and parents’ written informed consent was obtained. The study protocol was approved by the Human Ethics Committee at the University of Duisburg-Essen, Faculty of Educational Sciences.

### Procedures

All participants performed the YBT-UQ twice, separated by one week during physical education (PE) classes in the school setting. Upon entering the gym, all participants received standardized verbal instructions and a visual demonstration regarding the testing procedure that included the assessment of arm dominance<sup>6</sup> and anthropometric variables followed by performance measurement in the YBT-UQ.

### Assessment of anthropometric variables

Standing height was assessed with shoes off to the nearest 1.0 cm with a stadiometer (seca 217, Basel, Switzerland). Further, body mass was determined in light clothing and without shoes to the nearest 100 g with an electronic scale (seca 803, Basel, Switzerland). Body mass index was calculated using body mass divided by height squared ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). For

**Table 1. Characteristics of the study participants (N=111) by age cohort.**

Characteristic	12 yrs (n=14)	13 yrs (n=20)	14 yrs (n=24)	15 yrs (n=20)	16 yrs (n=18)	17 yrs (n=15)
Sex (f/m)	6/8	7/13	13/11	11/9	13/5	9/6
Height (cm)	160.5 ± 9.9	167.2 ± 8.8	168.4 ± 8.7	169.7 ± 8.7	168.5 ± 8.8	167.7 ± 10.4
Mass (kg)	48.4 ± 10.8	52.1 ± 10.1	59.3 ± 10.2	62.7 ± 15.8	62.1 ± 11.8	64.8 ± 12.3
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	18.7 ± 2.6	18.7 ± 3.6	21.0 ± 3.5	21.7 ± 4.5	21.7 ± 2.9	23.0 ± 3.3
Left arm length (cm)	81.6 ± 6.3	81.9 ± 4.7	84.4 ± 4.2	85.8 ± 5.5	85.5 ± 5.1	86.2 ± 5.1
Right arm length (cm)	81.6 ± 6.9	81.9 ± 4.9	84.6 ± 4.2	86.0 ± 5.3	85.6 ± 4.9	86.3 ± 5.0
Arm dominance (l/r)	(2/12)	(0/20)	(2/22)	(1/19)	(1/17)	(0/15)

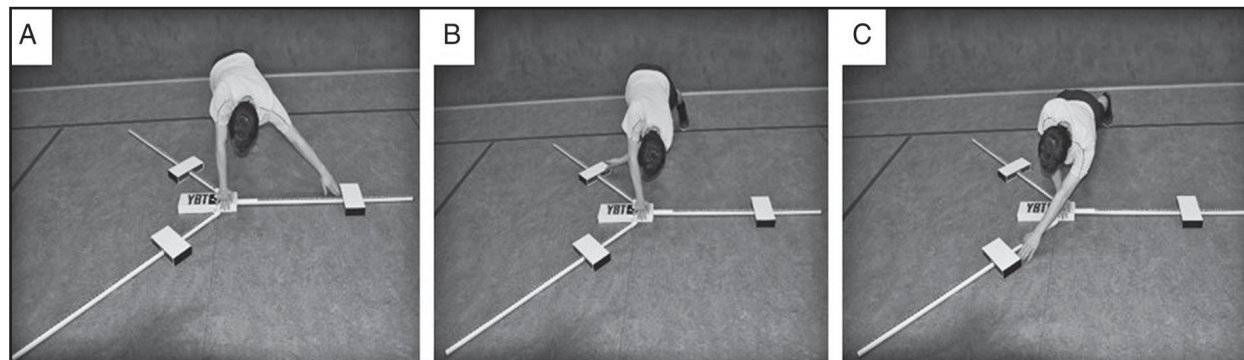
Values are mean values ± standard deviations. BMI = body mass index; f = female; m = male; l = left; r = right.

normalization purposes, right and left arm length (cm) was determined with a cloth tape measure in accordance to the YBT-UQ test instructions provided by Plisky.<sup>7</sup>

### Assessment of Upper Quarter Y Balance Test performance

YBT-UQ performance was assessed using the commercially available Y-Balance-Test-Kit (Functional Movement Systems, Chatham, USA) that was positioned on the gym floor. The Y-Balance-Test-Kit consists of a centralized platform to which three polyvinyl chloride pipes are attached representing the medial (MD), inferolateral (IL), and superolateral (SL) reach directions. Each pipe is marked in 0.5-cm increments for

measurement purposes and equipped with a moveable reach indicator. Each participant was instructed to reach with one arm as far as possible while maintaining his/her push-up position in the MD, IL, and SL directions (Figure 1 A-C). The YBT-UQ was performed with the left and right arm. Prior to its execution, standardized instructions and demonstrations were provided. Three practice trials were conducted followed by three data-collection trials. Participants started with the right thumb placed behind the starting line that is marked on the centralized platform in a weight bearing one-arm push-up position with feet shoulder width apart. Afterwards, the participant sequentially moved the reach indicator with the left hand in the three directions as indicated by YBT-UQ



**Figure 1.** Participant performing the Upper Quarter Y-Balance Test medial (A), inferolateral (B), and superolateral (C) reach.



test instructions. This procedure was repeated until three valid trials in each reach direction were registered. Subsequently, participants completed three trials in the same manner with the opposite arm. In order to prevent effects of fatigue, participants rested for one minute between trials. After each reach, the obtained distance (i.e., from the center of the centralized platform to the maximal reach indicator distance) was documented to the closest 0.5 cm. Trials were discarded and repeated if the participants (1) did not maintain the one-arm push-up position at any point during the trial (i.e., touched down to the floor with the reach hand), (2) did not maintain reach hand contact with the reach indicator (i.e., shoved the reach indicator), (3) used the reach indicator for support (i.e., placed reach hand on top of the reach indicator) or (4) failed to return the reach hand to the starting position under control. Due to the amount of time needed for administering the YBT-UQ (i.e., three practice trials followed by three data-collection trials), two skilled examiners documented the reach distances in a group setting (i.e., examiner-to-student ratio of 1 to 5). The same examiners completed the test and retest for a particular group of subjects after they had trained their competence for YBT-UQ assessment in a study course. The normalized maximal reach distance per reach direction and arm was used as an outcome measure and calculated as follows: normalized maximal reach distance (% arm length [AL]) = (absolute maximal reach distance [cm]) / AL [cm] × 100. Further, the normalized composite score ([CS] i.e., sum of the three maximal reach distances per reach direction) per arm was calculated by using the following formula and additionally used as outcome measure: CS (% AL) = ((MD + IL + SL) / (AL × 3)) × 100.

### Statistical analyses

Descriptive statistics (i.e., group mean values ± standard deviations [SDs]) were calculated for the maximum distance reached in each of the three directions for both arms. An independent samples t-test was used to quantify YBT-UQ performance differences between females and males and a dependent samples t-test was performed to detect performance differences between the dominant and the non-dominant arm. Relative reliability was assessed using the ICC<sub>3,1</sub> and the 95% confidence

interval (CI).<sup>8</sup> In accordance to Fleiss<sup>9</sup>, ICC ≥ 0.75 was considered “excellent”, 0.40 < ICC < 0.75 was considered “moderate-to-good”, and ICC < 0.40 was considered “poor”. The absolute reliability of the data was determined using the standard error of measurement (SEM).<sup>10</sup> The lower the SEM value, the more reliable the measurement. In addition, Bland–Altman plots<sup>11</sup> were used to define the magnitude of agreement between test-retest values. Here, the performance difference between the test and retest measurements were plotted against the mean of the respective measurements.<sup>11</sup> Bland and Altman<sup>11</sup> recommended that 95% of the data points should lie within the mean ± 1.96 SD (i.e., limit of agreement) of the differences for the test and retest measurements. Further, we determined the minimal detectable change (MDC<sub>95%</sub>). The MDC<sub>95%</sub> is an index used to define the difference needed between repeated measures on one subject for the difference in the measures to be considered real.<sup>4,8</sup> All statistical analyses were performed using SPSS software (version 24.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA). The significance level was set at  $p < 0.05$ .

## RESULTS

### YBT-UQ performance

Group mean values and SDs for the normalized (% AL) YBT-UQ performance by age are presented in Table 2. For the left arm reach, performance data ranged between 85.4-99.9%, 72.8-92.7%, and 58.8-66.3% for the MD, IL, and SL direction, respectively. The corresponding CS ranged from 74.4-83.8%. With respect to the right arm reach, YBT-UQ performance ranged between 84.3-98.3% (MD direction), 72.3-91.0% (IL direction), and 56.7-63.0% (SL direction). The respective CS ranged from 72.7-82.8%. Except for the right arm reach in the IL direction ( $p = 0.035$ ; lower in girls than in boys), no significant differences between female and male participants were detected. Further, the limb comparison revealed no statistically significant differences between the dominant and the non-dominant arm for any of the three reach directions or the CS.

### Reliability

Irrespective of age cohort, reach arm, and reach direction, the ICC<sub>3,1</sub> values ranged from “moderate-to-good” to “excellent”, i.e. from 0.67-0.90 for

**Table 2. Upper Quarter Y Balance Test performance data for the test and retest assessment by age cohort.**

	12 yrs (n=14)		13 yrs (n=20)		14 yrs (n=24)		15 yrs (n=20)		16 yrs (n=18)		17 yrs (n=15)	
	Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest	Test	Retest
<b>Left arm reach</b>												
MD (% AL)	85.4 ± 9.6	86.8 ± 11.1	93.5 ± 8.1	93.2 ± 11.4	92.9 ± 6.2	92.6 ± 9.4	97.1 ± 11.1	99.9 ± 10.3	95.6 ± 13.0	95.5 ± 16.0	93.9 ± 12.7	97.2 ± 11.2
IL (% AL)	79.0 ± 9.5	77.5 ± 8.8	87.2 ± 13.7	92.7 ± 21.1	83.2 ± 13.9	78.2 ± 11.9	78.9 ± 9.6	78.9 ± 12.7	72.9 ± 10.9	72.8 ± 10.9	74.5 ± 10.7	73.5 ± 11.4
SL (% AL)	58.8 ± 7.6	60.3 ± 12.2	65.7 ± 10.9	65.6 ± 11.3	66.3 ± 12.7	61.7 ± 10.7	64.5 ± 8.3	66.2 ± 11.7	61.8 ± 10.6	61.9 ± 12.4	64.1 ± 14.2	63.5 ± 14.2
CS (% AL)	74.4 ± 7.9	74.9 ± 9.5	82.1 ± 9.8	83.8 ± 12.4	80.8 ± 8.5	77.5 ± 9.0	80.2 ± 6.6	81.6 ± 9.9	76.8 ± 9.8	76.7 ± 11.6	77.5 ± 10.9	78.1 ± 10.7
<b>Right arm reach</b>												
MD (% AL)	84.3 ± 9.6	86.8 ± 13.1	92.5 ± 8.4	95.1 ± 9.7	93.1 ± 6.6	94.0 ± 10.0	95.7 ± 10.6	98.3 ± 10.4	93.6 ± 11.5	92.3 ± 9.5	94.4 ± 10.0	95.5 ± 12.8
IL (% AL)	77.0 ± 9.6	75.5 ± 11.7	88.3 ± 13.8	91.0 ± 18.6	82.0 ± 11.4	79.4 ± 10.7	76.3 ± 9.1	75.4 ± 10.4	72.4 ± 10.7	72.3 ± 10.6	75.9 ± 11.2	75.1 ± 12.2
SL (% AL)	56.7 ± 9.3	57.7 ± 12.7	62.2 ± 10.5	62.3 ± 9.5	62.7 ± 8.4	61.3 ± 9.6	61.1 ± 9.8	63.0 ± 11.7	59.5 ± 11.4	60.0 ± 12.0	61.5 ± 9.5	61.1 ± 13.1
CS (% AL)	72.7 ± 7.9	73.3 ± 10.9	81.0 ± 8.8	82.8 ± 10.7	79.3 ± 6.5	78.2 ± 8.0	77.7 ± 7.0	78.9 ± 8.6	75.2 ± 8.7	74.9 ± 8.4	77.3 ± 8.8	77.2 ± 11.0

Values are mean values ± standard deviations. AL = arm length; CS = composite score; IL = inferolateral; MD = medial; SL = superolateral.

12-year-olds, from 0.67-0.88 for 13-year-olds, from 0.63-0.93 for 14-year-olds, from 0.47-0.83 for 15-year-olds, from 0.81-0.90 for 16-year-olds, and from 0.86-0.97 for 17-year-olds (Table 3). In addition, the SEM values ranged from 2.9-6.1% for 12-year-olds, from 3.5-7.4% for 13-year-olds, from 1.9-5.3% for 14-year-olds, from 3.4-7.6% for 15-year-olds, from 2.7-6.0% for 16-year-olds, and from 1.8-4.3% for 17-year-olds (Table 3). Examples of Bland–Altman plots for the CS during left arm reach for each age category are shown in Figure 2 A-F. Overall, the plots illustrate that a relatively large amount of data points

(87.5-100%) was within the limits of agreement (i.e., mean ± 1.96 SD lines). For the other measures, the percentages of data points, which were within the limits of agreement, were in the same range (data not shown).

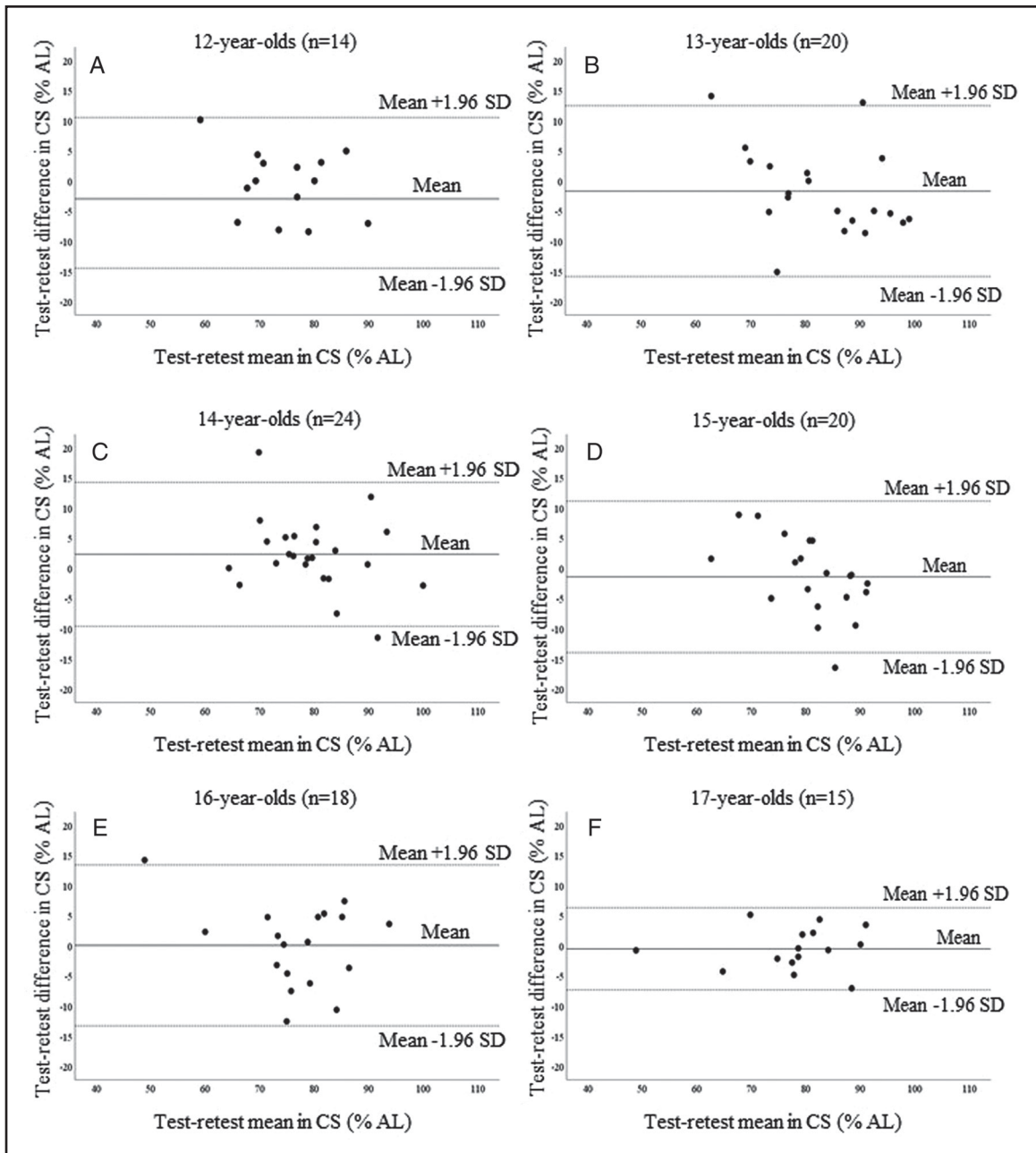
### Minimal detectable change

The MDC95% values ranged from 8.1-16.9% for 12-year-olds, from 9.7-20.4% for 13-year-olds, from 5.4-14.8% for 14-year-olds, from 9.5-21.1% for 15-year-olds, from 7.6-16.5% for 16-year-olds, and from 4.8-11.9% for 17-year-olds (Table 4).

**Table 3. Intraclass correlation coefficient with 95% confidence interval and standard error of measurement by age cohort.**

	12 yrs (n=14)		13 yrs (n=20)		14 yrs (n=24)		15 yrs (n=20)		16 yrs (n=18)		17 yrs (n=15)	
	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)	ICC <sub>3,1</sub> (95% CI)	SEM (%)
<b>Left arm reach</b>												
MD (% AL)	0.90 (0.68-0.97)	3.3	0.78 (0.44-0.91)	4.6	0.63 (0.15-0.84)	5.2	0.83 (0.56-0.93)	4.6	0.85 (0.63-0.94)	5.5	0.94 (0.82-0.98)	2.9
IL (% AL)	0.80 (0.39-0.94)	4.0	0.83 (0.57-0.93)	7.4	0.90 (0.78-0.96)	4.1	0.57 (-0.08-0.83)	7.3	0.82 (0.54-0.93)	6.0	0.95 (0.84-0.98)	2.5
SL (% AL)	0.71 (0.09-0.91)	5.4	0.80 (0.50-0.92)	4.9	0.81 (0.55-0.92)	5.3	0.78 (0.44-0.91)	4.7	0.85 (0.62-0.94)	4.4	0.97 (0.91-0.99)	2.5
CS (% AL)	0.89 (0.64-0.96)	2.9	0.88 (0.70-0.95)	3.8	0.88 (0.72-0.95)	3.2	0.83 (0.57-0.93)	3.4	0.90 (0.75-0.96)	3.3	0.97 (0.92-0.99)	1.8
<b>Right arm reach</b>												
MD (% AL)	0.82 (0.44-0.94)	4.8	0.67 (0.17-0.87)	5.2	0.75 (0.41-0.89)	4.4	0.81 (0.53-0.93)	4.5	0.81 (0.51-0.92)	4.6	0.91 (0.72-0.97)	3.5
IL (% AL)	0.67 (-0.04-0.89)	6.1	0.86 (0.64-0.94)	6.2	0.90 (0.77-0.96)	3.5	0.47 (-0.58-0.75)	7.6	0.84 (0.58-0.94)	4.3	0.86 (0.59-0.95)	4.3
SL (% AL)	0.90 (0.67-0.97)	3.5	0.71 (0.27-0.89)	5.3	0.84 (0.63-0.93)	3.7	0.83 (0.56-0.93)	4.5	0.86 (0.64-0.94)	4.3	0.94 (0.81-0.98)	2.8
CS (% AL)	0.87 (0.61-0.96)	3.3	0.87 (0.68-0.95)	3.5	0.93 (0.84-0.97)	1.9	0.80 (0.50-0.92)	3.5	0.90 (0.74-0.96)	2.7	0.94 (0.83-0.98)	2.3

AL = arm length; CI = confidence interval; CS = composite score; ICC<sub>3,1</sub> = intraclass correlation coefficient; IL = inferolateral; MD = medial; SEM = standard error of measurement; SL = superolateral.



**Figure 2.** Bland-Altman plots for the composite score (CS) during left arm reach for the 12-year-olds (A), the 13-year-olds (B), the 14-year-olds (C), the 15-year-olds (D), the 16-year-olds (E), and the 17-year-olds (F). The difference between the test and retest measurements is plotted against the mean of the respective measurements. Solid lines indicate the average of the differences. Dotted lines indicate the mean  $\pm$  1.96 standard deviations (i.e., limit of agreement).

## DISCUSSION

In the present study, test-retest reliability of the YBT-UQ was investigated in a relatively large-sized sample of 111 healthy female and male adolescents aged 12-17. With reference to the relevant literature,<sup>1,2</sup> it was expected that the YBT-UQ would be a reproducible test for the assessment of upper quarter mobility and stability in this population.

Given that there is no study available that examined test-retest reliability of the YBT-UQ in healthy adolescents, the present results have to be compared with results originating from studies<sup>1,2</sup> that investigated older age cohorts. For example, Gorman et al.<sup>8</sup> investigated healthy young adults (age range: 19-47<sub>2,3</sub> years) and reported ICC values between 0.80 and 0.99 for the three reach directions indicating “excellent”

**Table 4. Minimal detectable change by age cohort.**

	12 yrs (n=14)	13 yrs (n=20)	14 yrs (n=24)	15 yrs (n=20)	16 yrs (n=18)	17 yrs (n=15)
<b>Left arm reach</b>						
MD (% AL)	9.1	12.8	14.5	12.3	15.2	8.0
IL (% AL)	11.2	20.4	11.4	20.2	16.5	7.1
SL (% AL)	15.0	13.5	14.8	13.1	12.3	6.8
CS (% AL)	8.1	10.5	8.9	9.5	9.2	4.8
<b>Right arm reach</b>						
MD (% AL)	13.3	14.5	12.3	12.6	12.7	9.6
IL (% AL)	16.9	17.1	9.6	21.1	11.9	11.9
SL (% AL)	9.8	14.7	10.1	12.3	12.0	7.8
CS (% AL)	9.2	9.7	5.4	9.6	7.6	6.4

AL = arm length; CS = composite score; IL = inferolateral; MD = medial; SL = superolateral.

reliability. Further, Westrick et al.<sup>2</sup> studied healthy, college-aged adults and observed ICC values ranging from 0.91 to 0.92 that are indicative of “excellent” reliability. The present findings are mainly in accordance with the previous studies.<sup>1,2</sup> This implies that the YBT-UQ is a reproducible test that can be used for the assessment of intervention-based (e.g., physical exercise) changes of upper quarter mobility and stability in adolescents from several age cohorts as well as in young adults. However, we observed solely “excellent” ICC values in the 16- and 17-year-olds while the 12- to 15-year-olds crossed over from “moderate-to-good” into “excellent” ICC values. Thus, particular care (e.g., ensuring a high level of attention and concentration by the tested subjects) is needed when performing the YBT-UQ in younger compared to older adolescents. Further, the “excellent” ICC values in the 16- and 17-year-olds corresponds with those obtained in adults<sup>1,2</sup> which seems indicative for the adoption of an adult-like YBT-UQ control in this age group.

The MDC95% ranged between 4.8% and 21.1%. Thus, a change in YBT-UQ performance exceeding these values, seems to be a true response, and an examiner can be 95% confident that a true change has occurred beyond measurement error. In this regard, a study by Salo and Chaconas<sup>12</sup> repeatedly performed the YBT-UQ performance before and after a fatigue protocol in healthy adults (mean age:

26 ± 3 years). The authors reported significant performance reductions of 2 to 18%, which corresponds to the aforementioned MDC95% value range.

Further, the present analyses showed no statistically significant differences in performance on the YBT-UQ between females and males (except for the right arm reach in the IL direction in favour of boys) as well as between the dominant and the non-dominant arm. This is in line with previous studies<sup>1,2,13,14</sup> that investigated sex and/or limb differences in the YBT-UQ performance. For example, Gorman et al.<sup>1</sup> compared normalized YBT-UQ performance between 45 women and 51 men and did not observe statistically significant sex differences. In terms of limb differences, Borms et al.<sup>14</sup> investigated 29 healthy adults and reported no significant differences on the YBT-UQ between the dominant and the non-dominant arm.

The present findings were obtained from typically developing adolescents aged 12 to 17 years and are thus only applicable in healthy adolescents in this specific age group. Thus, these results cannot be generalized to other populations with physical/motor deficits (e.g., adolescents suffering from developmental coordination disorder) or other age groups, such as younger (i.e., children) persons. Further, the presented findings are specific to the YBT-UQ, which is a well-established field-based method of investigating upper quarter mobility and stability.<sup>1-3</sup> As a



consequence, further research is needed to confirm the present results for other upper quarter field tests (e.g., closed kinetic chain upper extremity stability test, seated medicine ball throw).

## CONCLUSIONS

The results of the current study indicate “moderate- to-good” to “excellent” ICC values in 12- to 15-year-olds, “excellent” ICC scores in 16- and 17-year-olds, and rather low SEM values (i.e.,  $\leq 7.6\%$ ) when considering all adolescents. These findings indicate that the YBT-UQ is a feasible and reproducible test for the assessment of upper quarter mobility and stability in healthy female and male adolescents aged 12 to 17 years. The observed MDC95% values ranged from 4.8 to 21.1% (depending on age cohort, reach arm, and reach direction) and represent the minimum amount of change needed to exist between pre- and post-testing YBT-UQ scores to indicate a real change in performance. Future research is needed to establish the responsiveness of the YBT-UQ to upper body training and conditioning programs and to determine the amount of training-related performance changes, which may occur in adolescents.

## REFERENCES

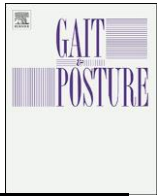
1. Gorman PP, Butler RJ, Plisky PJ, Kiesel KB. Upper Quarter Y Balance Test: reliability and performance comparison between gender in active adults. *J Strength Cond Res.* 2012;26:3043-8.
2. Westrick RB, Miller JM, Carow SD, Gerber JP. Exploration of the y-balance test for assessment of upper quarter closed kinetic chain performance. *Int J Sports Phys Ther.* 2012;7:139-47.
3. Borms D, Cools A. Upper-extremity functional performance tests: reference values for overhead athletes. *Int J Sports Med.* 2018;39:433-41.
4. Haley SM, Fragala-Pinkham MA. Interpreting change scores of tests and measures used in physical therapy. *Phys Ther.* 2006;86:735-43.
5. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. *Growth, maturation, and physical activity.* Champaign, IL: Human Kinetics; 2004.
6. Coren S. The lateral preference inventory for measurement of handedness, footedness, eyedness, and earedness: Norms for young adults. *Bull Psychonom Soc.* 1993;31:1-3.
7. Plisky PJ. *Y Balance Test home study course.* 2010.
8. Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *J Strength Cond Res.* 2005;19:231-40.
9. Fleiss JL. *Reliability of measurement. The design and analysis of clinical experiments.* New York: Wiley; 1986.
10. Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med.* 1998;26:217-38.
11. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1:307-10.
12. Salo TD, Chaconas E. The effect of fatigue on upper quarter Y-balance test scores in recreational weightlifters: a randomized controlled trial. *Int J Sports Phys Ther.* 2017;12:199-205.
13. Butler RJ, Myers HS, Black D, et al. Bilateral differences in the upper quarter function of high school aged baseball and softball players. *Int J Sports Phys Ther.* 2014;9:518-24.
14. Borms D, Maenhout A, Cools AM. Upper quadrant field tests and isokinetic upper limb strength in overhead athletes. *J Athl Train.* 2016;51:789-96.



ELSEVIER

## Gait & Posture

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/gaitpost](http://www.elsevier.com/locate/gaitpost)



Full length article

### Lower Quarter Y Balance Test performance: Reference values for healthy youth aged 10 to 17 years



Gerrit Schwietz<sup>a</sup>, Dennis Brueckner<sup>a</sup>, Rainer Beurskens<sup>b</sup>, Thomas Muehlbauer<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Division of Movement and Training Sciences/Biomechanics of Sport, University of Duisburg-Essen, Essen, Germany

<sup>b</sup> Department of Health and Social Affairs, FHM Bielefeld - University of Applied Sciences, Bielefeld, Germany

#### ARTICLE INFO

**Keywords:** Postural control  
Dynamic balance  
Normative data  
Children  
Adolescents

#### ABSTRACT

**Background:** The Lower Quarter Y Balance Test (YBT-LQ) has been widely used to register dynamic balance performance in children and adolescents. However, studies evaluating age- and sex-specific normative data to assess and classify YBT-LQ performance for these age-cohorts are missing.

**Objective:** Thus, we investigated YBT-LQ performance in healthy youth to provide age- and sex-specific reference values.

**Methods:** Six-hundred and sixty-nine individuals (286 female, 383 male) aged 10–17 years performed the YBT-LQ with their left and right leg. Normalized maximal reach distances (% leg length) for all three directions (i.e., anterior, posterolateral, posteromedial) and the composite score were calculated. Further, age- and sex-specific percentile values (i.e., 10th to 90th percentile) were computed and plotted.

**Results:** In boys, the oldest age group (16–17 years) performed better than the younger ones (14–15, 12–13, and 10–11 years). In girls, the youngest age group (10–11 years) often achieved better values compared to the 12–13-year olds. Further, 16–17-year old boys compared to the same aged girls showed better YBT-LQ performance in all but one measure (except left leg reach in posterolateral direction). For both sexes, curvilinear shaped curves were detected for percentile values across the reach directions.

**Conclusions:** The generated age- and sex-specific reference values for the YBT-LQ can be used by practitioners to evaluate dynamic balance performance in healthy youth aged 10–17 years.

## 1. Introduction

In children and adolescents, well-developed dynamic balance capabilities are crucial during everyday actions (e.g., climbing stairs), leisure time activities (e.g., slacklining) and sport activities (e.g., beam gymnastics) [1] and deficits in dynamic balance performance have been shown to be associated with an increased risk for sustaining injuries of the lower extremities [2]. Consequently, the registration and evaluation of dynamic balance is essential in youth to identify individuals with good (i.e., talent identification) or poor (i.e., person at risk) dynamic balance capacities. From this, specific interventions tailored for individual's needs (i.e., programs for talent development or injury prevention) can be developed.

A feasible and widely used tool for the assessment of dynamic balance in youth is the Lower Quarter Y Balance Test (YBT-LQ), representing a valid and reliable test to assess dynamic balance performance [3,4]. Using the YBT-LQ, participants stand in unipedal stance

on a centralized platform and are instructed to successively reach with the other leg as far as possible in three different movement directions (i.e., anterior [AT], posteromedial [PM], posterolateral [PL]) while maintaining balance [5]. The achieved distances are then normalized to the individual leg length (% leg length [LL]), thus allowing inter-individual comparisons between different cohorts (i.e., different age groups or sexes). However, to evaluate YBT-LQ performance in youth, reference values are needed to classify individual performances.

So far, previous studies [6–9] on the establishment of normative data for the YBT-LQ are limited in several aspects. For example and contrary to the present study, most of the earlier studies were conducted in adults [6,7,9]. Further, only one age-cohort [6,7,9] was assessed in the aforementioned studies in adults and in the sole study [8] that was conducted in youth. Lastly, the findings of some studies [8,9] are limited to females or males only. Consequently, reference values for the YBT-LQ for female and male youth in different age-cohorts are still missing. However, these particular age- and sex-specific values are

\* Corresponding author at: University of Duisburg-Essen, Division of Movement and Training Sciences/Biomechanics of Sport, Gladbecker Str. 182, 45141, Essen, Germany.

E-mail address: [thomas.muehlbauer@uni-due.de](mailto:thomas.muehlbauer@uni-due.de) (T. Muehlbauer).

<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.05.041>

Received 8 January 2020; Received in revised form 28 April 2020; Accepted 26 May 2020  
0966-6362/©Elsevier B.V. All rights reserved

needed as significant differences in balance control between children and adolescents (i.e., better balance performance in older than younger age groups) as well as between boys and girls (i.e., worse balance performance in boys compared to girls) have been reported [10–12]. Therefore, the objective of the present study was to determine age- and sex-specific reference values for the YBT-LQ in healthy female and male youth from several age cohorts (i.e., 10–11, 12–13, 14–15, and 16–17 years). With reference to the relevant literature [10–12], we expected that the YBT-LQ performance improves with age and that sex-specific differences (i.e., boys will reach further compared to girls) occur.

## 2. Methods

### 2.1. Subjects

Six-hundred and sixty-nine female ( $n = 286$ ) and male ( $n = 383$ ) individuals aged 10–17 years volunteered to participate in this cross-sectional cohort study. The participants were divided in four age categories, each with a two-year interval: 10–11 ( $n = 125$ ), 12–13 ( $n = 153$ ), 14–15 ( $n = 246$ ), and 16–17 ( $n = 145$ ) years. The characteristics of the participants are summarized in Table 1 (Supplementary material). None of the subjects had any previous experience performing the YBT-LQ. Participants that had a musculoskeletal, neurological or orthopedic disorder were excluded from the study. Individuals with special educational needs (e.g., ADHD) or visual/auditory impairments were included if the responsible P.E. teacher indicated no detrimental effect on YBT-LQ performance. Participants' assent and parents' written informed consent was obtained prior to the start of the study. The study protocol was approved by the Human Ethics Committee at the University of Duisburg-Essen, Faculty of Educational Sciences.

### 2.2. Procedures

Participants were individually examined in a single testing session conducted in the morning (i.e., between 8 and 11 a.m.). After entering the testing room, all participants received standardized verbal instructions and a visual demonstration regarding the testing procedure that included the measurement of body height, body mass, leg length, and YBT-LQ performance. All tests were executed without shoes.

#### 2.2.1. Anthropometry

Participants' body height was measured to the nearest 0.5 cm using a stadiometer (seca 217, Basel, Switzerland) and body mass was assessed in light clothing to the nearest 100 g with an electronic scale (seca 803, Basel, Switzerland). The length of the left and right leg was determined as the distance in cm from the anterior superior iliac spine to the most distal aspect of the medial malleolus with the participant lying supine [13].

#### 2.2.2. Lower Quarter Y Balance Test performance

YBT-LQ performance was registered using the Y Balance Test Kit (Functional Movement Systems, Chatham, USA). The test consists of a centralized stance platform and three pipes connected with the platform. The pipes represent AT, PM, and PL reach directions and are marked in 1.0-cm increments for measurement purposes. All pipes are equipped with a moveable reach indicator. During the testing procedure, participants had to stand with one leg on the centralized platform and were instructed to reach with the other leg as far as possible in the AT, PM, and PL directions while maintaining balance. Arm and upper-body movements were permitted during the execution of the YBT-LQ. Each participant performed three practice trials followed by three data-collection trials per leg. Starting with the AT reach direction while standing on the right leg followed by standing on the left leg, this protocol was then replicated for the PM and PL directions. A trial was

classified as invalid if the participants a) lost their balance (i.e., stepped with the reach leg on the ground), b) lifted the stance leg from the stance platform, c) stepped on top of the reach indicator for support, or d) kicked the reach indicator [13]. If an invalid trial occurred, the respective data was discarded and trials were repeated until a total of three valid trials was completed. The normalized (% LL) maximal reach distance per reach direction and leg was calculated by dividing the absolute maximal reach distance (cm) by LL (cm) and then multiplied by 100. Further, the normalized (% LL) composite score (CS) was computed for each leg as the sum of the three maximal reach distances (cm) per reach direction divided by three times LL (cm) and then multiplied by 100. The YBT-LQ is a valid and reliable tool to assess dynamic balance performance [3,4].

### 2.3. Statistical analyses

Anthropometric and YBT-LQ performance data were grouped by age and sex. Mean values  $\pm$  standard deviations were calculated for each group. For the YBT-LQ, multivariate analyses of variance (MANOVA) were used to compare the performance between age groups (i.e., 10–11, 12–13, 14–15, and 16–17 years) and sexes (boys and girls). Post-hoc tests with Bonferroni-adjusted  $\alpha$  were performed on measures that showed statistically significant differences (level of significance:  $p < .05$ ). Further, partial eta-squared values ( $\eta_p^2$ ) were calculated and used as an effect size measure. According to Cohen [14],  $0.02 \leq \eta_p^2 \leq 0.12$  represent small effects,  $0.13 \leq \eta_p^2 \leq 0.25$  represent moderate effects, and  $\eta_p^2 \geq 0.26$  represent large effects. Further, smoothed age- and sex-specific percentile values were generated. The obtained data were expressed as tabulated percentiles (i.e., 10th to 90th) and as smoothed curves showing the 10th, 50th, and 90th percentile. All analyses were carried out using Statistical Package for Social Sciences (SPSS) version 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL).

## 3. Results

### 3.1. Performance differences by age and sex

Table 2 (Supplementary material) illustrates mean values and standard deviations for the normalized YBT-LQ performance by age group and sex. In males, the MANOVA showed significant main effects of age for all values ( $p \leq 0.012$ ; range:  $0.28 \leq \eta_p^2 \leq 0.70$ ). Regarding AT direction, post-hoc analyses revealed significantly larger values for the 16–17- compared to the 12–13-year-olds (left leg reach:  $p = 0.012$ ; right leg reach:  $p = 0.018$ ). Further, the 16–17-year-olds showed larger values for the PM direction than the 10–11- (left leg reach:  $p = 0.004$ ; right leg reach:  $p = 0.006$ ), the 12–13- (left leg reach:  $p < 0.001$ ; right leg reach:  $p < 0.001$ ), and the 14–15-year-olds (left leg reach:  $p = 0.001$ ; right leg reach:  $p = 0.001$ ). In addition, the 16–17-year-olds obtained significantly larger values for the PL direction compared to the 12–13- (left leg reach:  $p = 0.003$ ; right leg reach:  $p = 0.001$ ) and the 14–15-year-olds (right leg reach:  $p = 0.024$ ). Lastly, the CS values were significantly larger for the 16–17- than the 12–13- (left leg reach:  $p < 0.001$ ; right leg reach:  $p < 0.001$ ) and the 14–15-year-olds (left leg reach:  $p = 0.013$ ; right leg reach:  $p = 0.003$ ). For females, the MANOVA yielded significant main effects of age for all measures ( $p \leq .020$ ; range:  $0.34 \leq \eta_p^2 \leq 0.61$ ) except for the left ( $p = 0.353$ ;  $\eta_p^2 = 0.01$ ) and right ( $p = 0.076$ ;  $\eta_p^2 = 0.02$ ) leg reach in AT direction. Concerning left leg reach in PM direction, post-hoc analyses showed significantly larger values for the 16–17- ( $p = 0.002$ ) compared to the 12–13-year-olds. Further, the 10–11-year-olds achieved larger values for the left leg reach in PL direction than the 12–13- ( $p = 0.018$ ) and the 14–15-year-olds ( $p = 0.044$ ). In addition, the 10–11-year-olds obtained significantly larger left leg reach CS values compared to the 12–13-olds ( $p = 0.044$ ). About the right leg reach in PM direction, post-hoc analyses yielded significantly shorter

**Table 1**Smoothed age-specific percentile values for the normalized (% leg length) maximal left leg reach distances in males ( $n = 383$ ) aged 10 to 17 years.

	10 <sup>th</sup>	20 <sup>th</sup>	30 <sup>th</sup>	40 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	60 <sup>th</sup>	70 <sup>th</sup>	80 <sup>th</sup>	90 <sup>th</sup>
<b>Anterior</b>									
10–11 yrs ( $n = 59$ )	61.8	67.1	69.2	73.7	74.7	77.9	79.7	82.7	89.4
12–13 yrs ( $n = 96$ )	60.8	64.7	67.0	69.1	71.5	74.3	77.1	80.7	86.6
14–15 yrs ( $n = 154$ )	64.2	67.4	70.4	72.5	74.0	75.3	76.7	79.2	81.5
16–17 yrs ( $n = 74$ )	67.9	70.6	72.2	74.9	76.6	77.5	80.4	84.6	89.1
<b>Posteromedial</b>									
10–11 yrs ( $n = 59$ )	89.0	98.8	104.2	107.0	111.5	115.1	117.7	121.1	129.0
12–13 yrs ( $n = 96$ )	93.6	97.1	102.8	106.4	109.4	111.0	113.9	120.5	124.1
14–15 yrs ( $n = 154$ )	98.4	103.3	106.0	108.9	111.8	114.6	116.8	120.0	123.2
16–17 yrs ( $n = 74$ )	104.9	111.1	113.4	114.7	119.6	121.5	123.8	126.0	130.7
<b>Posterolateral</b>									
10–11 yrs ( $n = 59$ )	90.7	99.6	103.4	106.9	111.8	115.2	119.0	122.5	130.2
12–13 yrs ( $n = 96$ )	89.1	93.9	97.3	101.1	105.4	109.1	111.8	117.7	122.7
14–15 yrs ( $n = 154$ )	93.3	98.9	103.1	106.5	109.7	111.5	114.0	117.2	120.9
16–17 yrs ( $n = 74$ )	98.1	103.6	107.8	110.4	112.5	114.1	116.9	121.4	123.9
<b>Composite score</b>									
10–11 yrs ( $n = 59$ )	82.7	88.4	93.8	97.2	98.2	103.4	105.3	106.9	116.0
12–13 yrs ( $n = 96$ )	82.1	84.7	89.1	93.5	95.4	98.6	100.8	106.1	109.2
14–15 yrs ( $n = 154$ )	86.6	90.6	93.6	95.6	98.1	100.7	102.1	104.3	108.2
16–17 yrs ( $n = 74$ )	92.5	95.2	98.2	100.0	102.8	105.0	106.3	108.3	113.8

values for the 12–13- than the 10–11- ( $p = 0.018$ ), the 14–15- ( $p = 0.039$ ) and 16–17-year-olds ( $p < 0.001$ ). Moreover, the 10–11-year-olds showed larger values for the right leg reach in PL direction compared to the 12–13- ( $p = 0.001$ ) and the 14–15-year-olds ( $p = 0.029$ ). Further, the 16–17-year-olds performed better ( $p = 0.014$ ) as the 12–13-year-olds. Finally, the 12–13-year-olds showed significantly worse right leg reach CS values compared to the 10–11- ( $p = 0.004$ ) and the 16–17-year-olds ( $p = 0.013$ ).

Sex-differences were found in 14–15-year-olds for the left ( $p = 0.047$ ) and right leg ( $p = 0.016$ ) reach in PL direction in favor of males. In addition, the 16–17-year-old boys outperformed ( $p \leq 0.017$ ) the same aged girls in all but one (except for the left leg reach in PL direction) measure.

### 3.2. Percentile values by age and sex

Smoothed age-specific percentile values for the normalized maximal reach distances in boys are shown in Tables 1 and 2 for the left and right leg, respectively. In girls, smoothed age-specific percentile values for the normalized maximal reach distances are presented in Tables 3 and 4 for the left and right leg, respectively. The corresponding smoothed

curves for the 10th, 50th, and 90th percentiles are illustrated in Fig. 1A–D for males and in Fig. 2A–D for females. In boys, we found curvilinear patterns for all measures and irrespective of reach leg. Further, the margins between the 10th, 50th, and 90th percentiles differentially changed with age. The 90th percentile curves showed lower values for the 14–15-year-olds compared to the younger and older age groups. However, the 10th and 50th percentile curves displayed lower values for the younger (especially the 12–13-year-olds) than for the older (14–15- and 16–17-year-olds) age groups.

Curvilinear patterns for all measures were also found in girls and that were again irrespective of reach leg. Similar to boys, the margins between the 10th, 50th, and 90th percentiles differentially changed with age. The 90th percentile curves showed larger values for the 10–11- and 12–13-year-olds compared to the older age groups. The 50th percentile curves displayed lower values for the 12–13-year-olds than for the younger (11–12-year-olds) and older (14–15- and 16–17-year-olds) age groups. Additionally, the 10th percentile curves illustrated hardly any differences between the 11–12- and the 16–17-year-olds.

**Table 2**Smoothed age-specific percentile values for the normalized (% leg length) maximal right leg reach distances in males ( $n = 383$ ) aged 10 to 17 years.

	10 <sup>th</sup>	20 <sup>th</sup>	30 <sup>th</sup>	40 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	60 <sup>th</sup>	70 <sup>th</sup>	80 <sup>th</sup>	90 <sup>th</sup>
<b>Anterior</b>									
10–11 yrs ( $n = 59$ )	60.6	65.4	68.3	73.6	74.3	77.9	79.1	81.8	87.8
12–13 yrs ( $n = 96$ )	60.9	63.4	66.1	67.5	70.7	73.9	76.2	79.7	84.5
14–15 yrs ( $n = 154$ )	63.1	66.7	69.8	70.9	72.3	74.5	76.1	79.6	81.6
16–17 yrs ( $n = 74$ )	66.0	68.5	71.2	73.9	75.8	77.9	81.7	85.0	89.6
<b>Posteromedial</b>									
10–11 yrs ( $n = 59$ )	92.6	96.9	102.4	105.8	110.6	114.1	118.4	121.1	129.3
12–13 yrs ( $n = 96$ )	89.6	96.7	100.0	104.7	107.5	109.9	113.1	117.8	123.9
14–15 yrs ( $n = 154$ )	98.0	102.0	104.4	108.2	110.3	113.1	115.6	119.3	124.1
16–17 yrs ( $n = 74$ )	102.9	108.4	111.3	115.2	117.2	121.7	123.6	126.3	131.0
<b>Posterolateral</b>									
10–11 yrs ( $n = 59$ )	88.7	97.3	102.3	106.1	111.8	115.5	118.4	122.4	127.6
12–13 yrs ( $n = 96$ )	89.2	95.2	100.1	102.6	105.5	107.5	110.4	118.8	124.6
14–15 yrs ( $n = 154$ )	92.5	99.0	103.0	106.0	108.4	109.8	113.0	118.0	122.8
16–17 yrs ( $n = 74$ )	95.4	103.2	106.9	109.8	113.8	116.8	120.1	125.5	130.3
<b>Composite score</b>									
10–11 yrs ( $n = 59$ )	81.1	88.7	92.4	96.8	99.1	102.9	105.3	107.5	113.7
12–13 yrs ( $n = 96$ )	82.1	85.3	88.1	92.3	94.9	97.0	99.5	105.1	111.3
14–15 yrs ( $n = 154$ )	86.2	89.5	92.9	95.0	97.0	99.6	101.9	104.5	108.2
16–17 yrs ( $n = 74$ )	90.5	94.3	96.5	99.1	101.5	105.7	108.3	111.2	114.5



**Table 3**Smoothed age-specific percentile values for the normalized (% leg length) maximal left leg reach distances in females ( $n = 286$ ) aged 10 to 17 years.

	10 <sup>th</sup>	20 <sup>th</sup>	30 <sup>th</sup>	40 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	60 <sup>th</sup>	70 <sup>th</sup>	80 <sup>th</sup>	90 <sup>th</sup>
<b>Anterior</b>									
10–11 yrs ( $n = 66$ )	64.9	68.3	71.3	72.8	76.5	78.1	80.1	81.8	86.7
12–13 yrs ( $n = 57$ )	65.3	67.0	68.5	69.8	71.5	73.8	77.6	80.5	86.7
14–15 yrs ( $n = 92$ )	63.3	68.5	69.8	71.7	73.2	75.2	77.5	78.6	81.0
16–17 yrs ( $n = 71$ )	63.8	67.4	68.8	70.8	72.3	75.4	78.6	81.2	84.7
<b>Posteromedial</b>									
10–11 yrs ( $n = 66$ )	97.0	100.2	103.5	110.6	111.5	115.8	118.2	121.0	125.1
12–13 yrs ( $n = 57$ )	88.4	92.4	99.6	101.1	103.1	106.5	113.2	118.1	128.4
14–15 yrs ( $n = 92$ )	96.2	101.0	103.9	107.9	110.9	112.4	115.2	119.4	123.4
16–17 yrs ( $n = 71$ )	99.1	103.7	107.5	109.1	112.5	114.2	118.3	122.9	129.0
<b>Posterolateral</b>									
10–11 yrs ( $n = 66$ )	92.2	102.1	106.6	108.6	112.1	115.7	118.9	122.3	126.8
12–13 yrs ( $n = 57$ )	84.7	93.4	97.5	100.7	104.3	106.1	111.7	118.5	124.8
14–15 yrs ( $n = 92$ )	90.5	97.5	99.0	104.5	106.2	108.0	109.3	113.1	121.8
16–17 yrs ( $n = 71$ )	95.5	101.5	103.9	107.3	109.1	111.5	115.5	117.8	121.6
<b>Composite score</b>									
10–11 yrs ( $n = 66$ )	85.5	91.4	95.4	98.4	101.0	102.6	105.4	107.6	110.8
12–13 yrs ( $n = 57$ )	80.5	85.0	90.1	90.8	92.2	93.6	101.5	107.2	111.4
14–15 yrs ( $n = 92$ )	85.4	87.7	92.7	95.2	97.0	98.8	100.5	103.3	107.2
16–17 yrs ( $n = 71$ )	87.6	93.1	94.1	96.4	98.2	100.5	101.9	105.4	110.3

#### 4. Discussion

This is the first study to report age- and sex-specific percentile values for the YBT-LQ in a relatively large sample ( $N = 669$ ) of healthy youth aged 10–17 years. The main findings of this study can be summarized as follows: (1) the oldest age group in boys (16–17 years) outperformed the younger ones (14–15, 12–13, and 10–11 years), yet the youngest age group in girls (10–11 years) often performed better than the next older age group (12–13 years); (2) in the oldest age group (16–17 years), the boys mostly performed better than girls; (3) both sexes showed curvilinear percentile curves and the margins between the 10th, 50th, and 90th percentiles differentially changed with age.

##### 4.1. Age and sex differences in YBT-LQ performance

Initially, we hypothesized that YBT-LQ performance improves with age. In boys, our findings confirm the assumption and we found better performances for the oldest age group (16–17-year-olds) compared to the younger age groups (14–15, 12–13, and 10–11 years). Contrary to this, the youngest girls (10–11 years) showed, in many aspects,

better performances compared to girls aged 12–13 and 14–15 years as well as similar performances to girls aged 16–17 years of age. Consequently, our results showed evidence for a diverse influence of maturation on YBT-LQ performance in girls and boys. More specifically, girls seemed to benefit from maturational processes (i.e., growth, functional development) at the beginning of their youth while boys tend to benefit from these processes at the end. In fact, there is evidence suggesting that girls mature earlier than boys as indicated by the time to reach their peak height velocity. For example, Marshall and Tanner [15] showed that height velocity peaked two years earlier in girls compared to boys. More specifically, girls aged 10 years showed a similar accelerated gain in height (i.e., growth in cm/year) compared to boys aged 12 years.

Our results also indicated sex differences in YBT-LQ performance with boys outperforming girls. However, better performance in boys could only be found for the 14–15- and 16–17-year-olds but not in the younger age groups (10–11 and 12–13 years). The reasons for this finding might again be the influence of maturational and developmental processes on balance performance where boys gain benefit in later ages while girls are affected in early stages of youth. The latter is supported by the fact that our results did not show significant sex

**Table 4**Smoothed age-specific percentile values for the normalized (% leg length) maximal right leg reach distances in females ( $n = 286$ ) aged 10 to 17 years.

	10 <sup>th</sup>	20 <sup>th</sup>	30 <sup>th</sup>	40 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	60 <sup>th</sup>	70 <sup>th</sup>	80 <sup>th</sup>	90 <sup>th</sup>
<b>Anterior</b>									
10–11 yrs ( $n = 66$ )	66.0	68.4	70.1	72.7	76.0	78.5	80.0	81.1	87.2
12–13 yrs ( $n = 57$ )	63.0	65.3	67.7	70.0	72.0	73.8	76.4	78.1	87.3
14–15 yrs ( $n = 92$ )	63.1	68.8	70.3	71.3	72.7	74.4	76.7	78.0	79.6
16–17 yrs ( $n = 71$ )	64.5	68.1	70.1	71.2	72.4	74.8	75.6	77.2	82.0
<b>Posteromedial</b>									
10–11 yrs ( $n = 66$ )	95.8	100.0	101.9	109.8	111.2	114.3	117.7	119.8	125.3
12–13 yrs ( $n = 57$ )	86.1	93.3	95.6	100.1	103.0	107.7	111.7	117.6	123.5
14–15 yrs ( $n = 92$ )	94.2	99.6	106.0	108.2	111.1	112.2	114.0	118.6	123.1
16–17 yrs ( $n = 71$ )	98.9	103.7	107.5	109.6	111.8	114.8	117.8	121.0	126.1
<b>Posterolateral</b>									
10–11 yrs ( $n = 66$ )	92.0	98.0	104.0	109.2	112.8	115.2	117.8	121.8	127.6
12–13 yrs ( $n = 57$ )	83.2	88.8	93.5	97.6	103.5	107.5	108.8	114.9	121.8
14–15 yrs ( $n = 92$ )	88.3	95.9	101.8	103.2	104.7	106.8	109.4	113.4	117.7
16–17 yrs ( $n = 71$ )	94.0	100.0	102.2	104.1	108.1	112.4	115.0	116.9	123.5
<b>Composite score</b>									
10–11 yrs ( $n = 66$ )	84.8	90.3	92.9	98.3	100.6	102.7	104.4	107.7	110.5
12–13 yrs ( $n = 57$ )	79.2	84.3	86.7	89.2	91.2	94.3	99.5	105.0	107.2
14–15 yrs ( $n = 92$ )	85.0	87.6	92.7	94.9	96.4	97.8	100.3	101.2	105.0
16–17 yrs ( $n = 71$ )	88.1	91.7	93.7	95.0	96.1	98.4	102.9	105.1	107.1

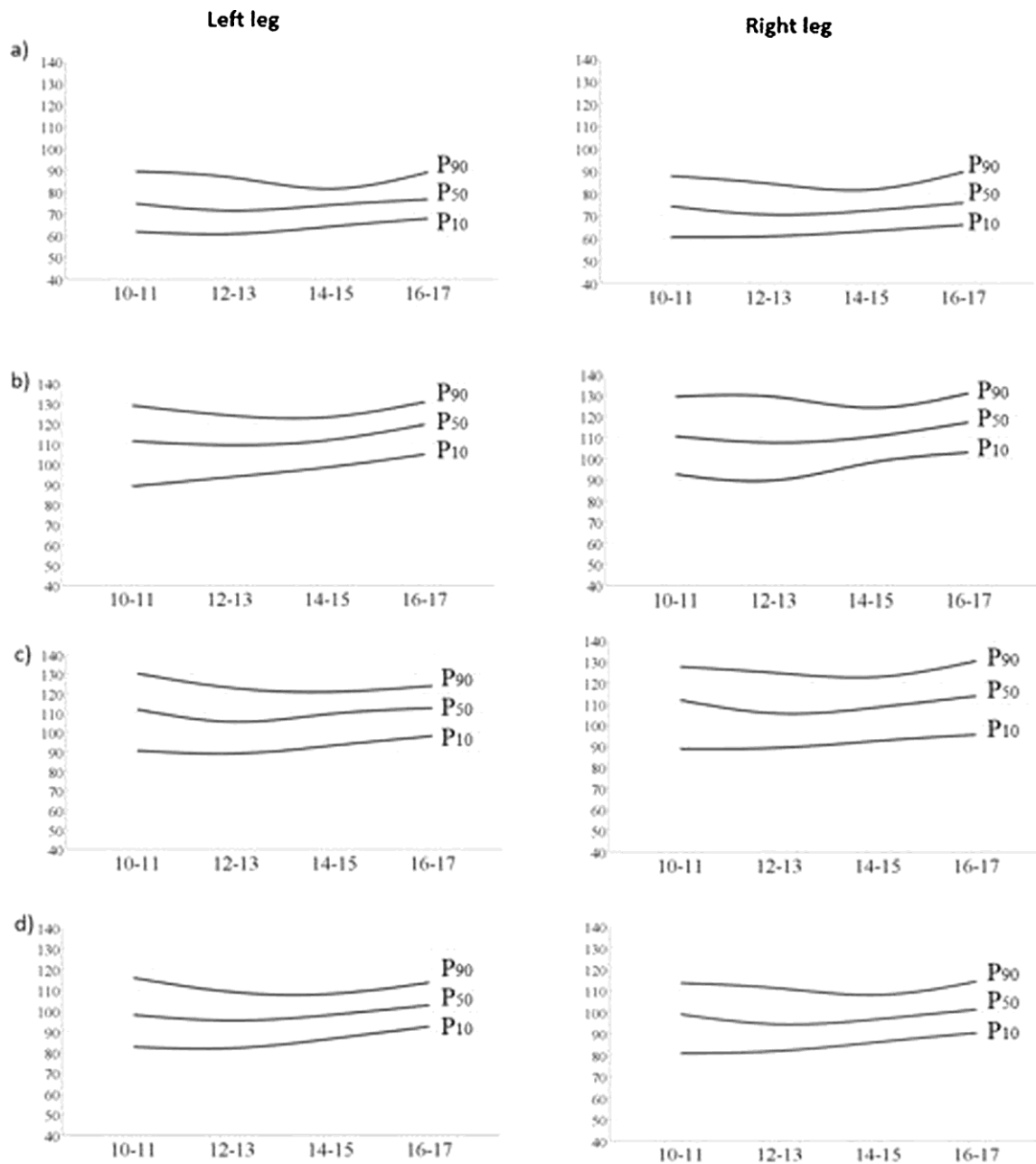


Fig. 1. Smoothed curves for the 10th, 50th, and 90th percentiles (% leg length) of the (a) anterior direction, (b) posteromedial direction, and (c) posterolateral direction as well as the (d) composite score during left and right leg reach in males aged 10 to 17 years.

differences in YBT-LQ performance for the age groups of 10–11- as well as 12–13-year-olds.

These sex-specific developments in dynamic balance performance were also shown in the calculated percentile curves. Although both sexes showed curvilinear patterns in performance development, YBT-LQ values in boys increased with advancing age while data in girls initially decreased and subsequently increased to regain the initial level. Further, accelerated YBT-LQ performance improvements could be shown in 14–15 years old boys and in 12–13 years old girls, indicating the presence of sensitive periods for developing dynamic balance performance in boys and girls that should be considered during the evaluation and training of this specific motor competence.

#### 4.2. Reference values for the YBT-LQ

There is only one previous study available that provided reference

values for the YBT-LQ in youth [8]. More specifically, Alhusaini et al. [8] investigated male children aged 12–15 years. In comparison to the 12–13- and 14–15-year-old boys in our study, they reported larger values for the AT reach direction ( $\sim 3\text{--}4\%$  LL) but smaller values for the PM ( $\sim 6\text{--}11\%$  LL) and PL ( $\sim 2\text{--}4\%$  LL) directions as well as for the CS ( $\sim 1\text{--}4\%$  LL). The observed differences in YBT-LQ performances between our study that was conducted in Germany and those of Alhusaini and colleagues (conducted in Saudi Arabia) might be attributed to discrepancies in culture and way of life as formerly shown in a study by Butler et al. [16]. In this regard, a less physically active lifestyle in Middle Eastern compared to European youth [17] might negatively affect measures of physical fitness like dynamic balance.

The establishment of normative data for the YBT-LQ in youth is of particular importance for professionals (i.e., teachers, coaches) working in educational (e.g., schools) and athletic (e.g., sports clubs) settings. The reported reference values from the present study can be used to

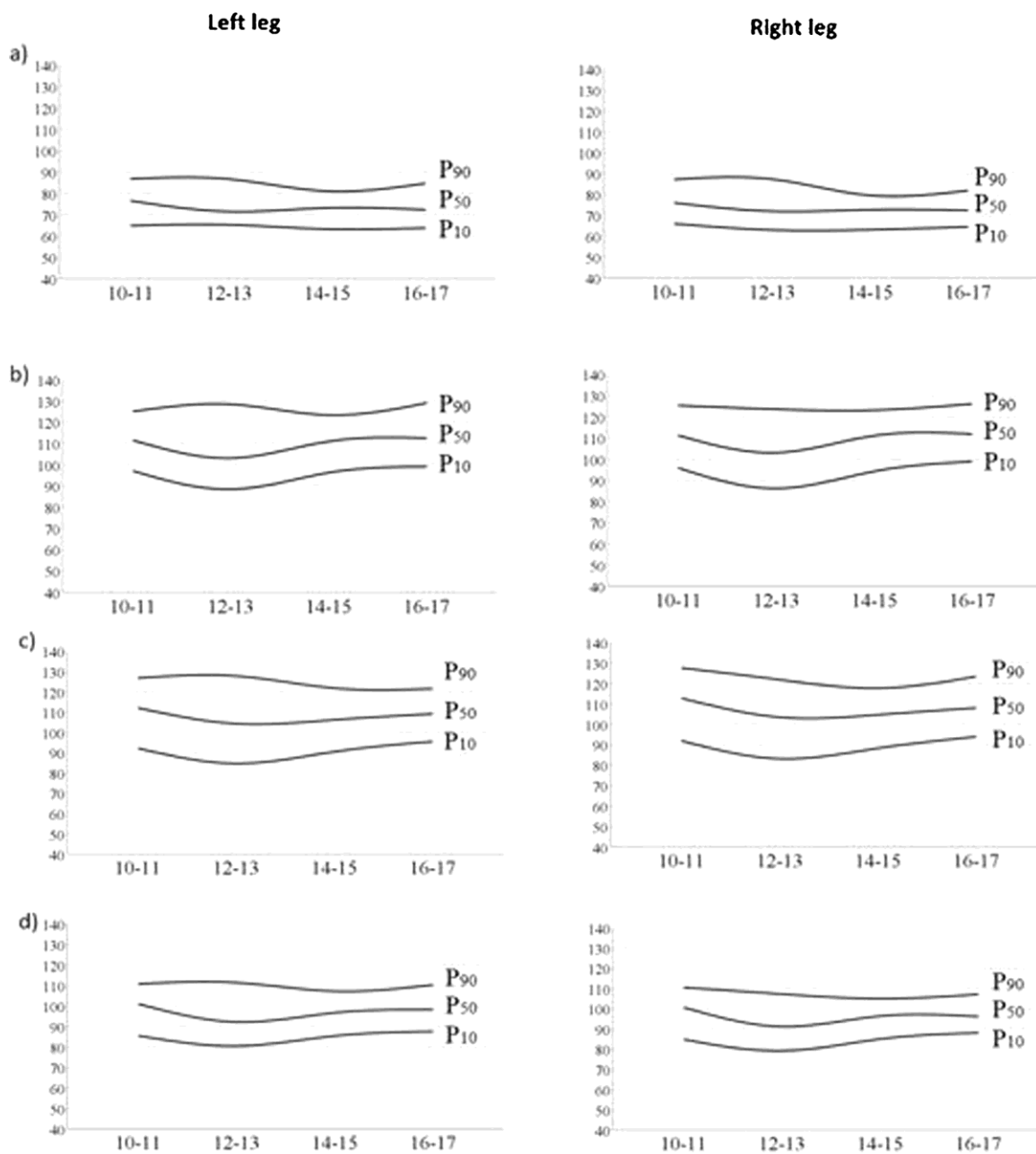


Fig. 2. Smoothed curves for the 10th, 50th, and 90th percentiles (% leg length) of the (a) anterior direction, (b) posteromedial direction, and (c) posterolateral direction as well as the (d) composite score during left and right leg reach in females aged 10 to 17 years.

evaluate and gauge YBT-LQ performance at a certain age as well as in the maturational and developmental process in youth aged 10–17 years as a whole. Further, the obtained percentile data may help to differentiate between high- and low-performer. As a consequence, schools and/or sports clubs could offer specifically tailored sport programs to support children and adolescents according to their individual performance level. For example, low fit youth might be introduced to fitness promoting programs and high fit youth to young athlete talent pro-grams.

## 5. Conclusions

The present study is the first to provide age- and sex-specific reference values for the YBT-LQ in healthy youth aged 10–17 years. Age comparisons revealed better YBT-LQ performance for the oldest age group in boys (16–17 years) compared the younger ones (14–15,

12–13, and 10–11 years), but better values for the youngest age group in girls (10–11 years) than the next older age group (12–13 years). Further, sex differences were mostly found in the oldest age group (16–17 years) in favor of boys. In addition, both sexes showed curvilinear percentile curves indicating sensitive periods in the development of YBT-LQ performance. The provided reference values can be used by P.E. teachers, coaches, and clinicians to differentiate between high- and low-performer.

### Declaration of Competing Interest

None of the authors has any conflicts of interest.

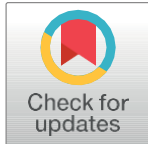
### Appendix A. Supplementary data

Supplementary material related to this article can be found, in the

online version, at  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.05.041>.

## References

- [1] T. Paillard, Relationship between sport expertise and postural skills, *Front. Psychol.* 10 (2019) 1428 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31293483>.
- [2] P.J. Plisky, M.J. Rauh, T.W. Kaminski, F.B. Underwood, Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players, *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 36 (12) (2006) 911–919 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17193868>.
- [3] G. Schwiertz, D. Brueckner, S. Schedler, R. Kiss, T. Muehlbauer, Performance and reliability of the Lower Quarter Y Balance Test in healthy adolescents from grade 6 to 11, *Gait Posture* 67 (2018) 142–146 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30336348>.
- [4] M. Eltoukhy, C. Kuenze, J. Oh, S. Wooten, J. Signorile, Kinect-based assessment of lower limb kinematics and dynamic postural control during the star excursion balance test, *Gait Posture* 58 (2017) 421–427 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28910654>.
- [5] P.J. Plisky, *Y Balance Test Home Study Course*, (2010) (accessed).
- [6] A.H. Alnahdi, A.A. Alderaa, A.Z. Aldali, H. Alsobayel, Reference values for the Y Balance Test and the lower extremity functional scale in young healthy adults, *J. Phys. Ther. Sci.* 27 (12) (2015) 3917–3921 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26834380>.
- [7] D.S. Teyhen, M.A. Riebel, D.R. McArthur, M. Savini, M.J. Jones, S.L. Goffar, et al., Normative data and the influence of age and gender on power, balance, flexibility, and functional movement in healthy service members, *Mil. Med.* 179 (4) (2014) 413–420 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24690966>.
- [8] A.A. Alhusaini, A.H. Alnahdi, G. Melam, A.Z. Aldali, M.S. Al-Mutairi, A.R. Alenzi, Normative values of Y Balance Test and Isometric muscle strength among saudi school children, *Phys Med. Rehab. Kuror.* 27 (3) (2017) 164–170.
- [9] C. Hudson, J.C. Garrison, K. Pollard, Y-balance normative data for female collegiate volleyball players, *Phys. Ther. Sport* 22 (2016) 61–65 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27583650>.
- [10] S. Schedler, R. Kiss, T. Muehlbauer, Age and sex differences in human balance performance from 6–18 years of age: a systematic review and meta-analysis, *PLoS One* 14 (4) (2019) e0214434 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30964877>.
- [11] R. Steindl, K. Kunz, A. Schrott-Fischer, A.W. Scholtz, Effect of age and sex on maturation of sensory systems and balance control, *Dev. Med. Child Neurol.* 48 (6) (2006) 477–482 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16700940>.
- [12] L. Nolan, A. Grigorenko, A. Thorstensson, Balance control: sex and age differences in 9- to 16-year-olds, *Dev. Med. Child Neurol.* 47 (7) (2005) 449–454 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15991864>.
- [13] P.J. Plisky, P.P. Gorman, R.J. Butler, K.B. Kiesel, F.B. Underwood, B. Elkins, The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test, *N. Am. J. Sports Phys. Ther.* 4 (2) (2009) 92–99 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21509114>.
- [14] J. Cohen, *Statistical Power for the Behavioral Sciences*, Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1988.
- [15] J.M. Tanner, R.H. Whitehouse, M. Takaishi, Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity, and weight velocity: British children, 1965. I, *Arch. Dis. Child* 41 (219) (1966) 454–471 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5957718>.
- [16] R.J. Butler, R.M. Queen, B. Beckman, K.B. Kiesel, P.J. Plisky, Comparison of dynamic balance in adolescent male soccer players from Rwanda and the United States, *Int. J. Sports Phys. Ther.* 8 (6) (2013) 749–755 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24377061>.
- [17] R. Guthold, G.A. Stevens, L.M. Riley, F.C. Bull, Global trends in insufficient physical activity among adolescents: a pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants, *Lancet Child Adolesc. Health* 4 (1) (2020) 23–35 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31761562>.



# Upper Quarter Y Balance test performance: Normative values for healthy youth aged 10 to 17 years

Gerrit Schwiertz \*, Julian Bauer, Thomas Muehlbauer

Division of Movement and Training Sciences/ Biomechanics of Sport, University of Duisburg-Essen, Essen, Germany

\* [gerrit.schwiertz@uni-due.de](mailto:gerrit.schwiertz@uni-due.de)

## Abstract

### Background

The Upper Quarter Y Balance test (YBT-UQ) is a field test for measuring shoulder mobility/ stability. However, there is a lack of information regarding age- and sex-specific reference values for classifying the YBT-UQ performance of children and adolescents.

### Objective

The aim was to investigate YBT-UQ performance in youth and to provide age- and sex-specific normative values.

### Method

Six hundred and sixty-five persons (325 girls, 340 boys) aged between 10 and 17 years carried out the YBT-UQ test. Following this, maximum reach values, normalised in terms of arm length, were calculated for each arm (i.e., left and right) and reach direction (i.e., medial [MD], inferolateral [IL], superolateral [SL]), and the composite score (CS) per arm. Additionally, percentiles were displayed graphically and in tabular form, distinguished according to age and gender.

### Results

In boys, those aged 14–15 years showed a higher achievement (e.g., MD direction) compared with both younger (12–13-year-olds) and older (16–17-year-olds) persons. In girls, differences related to age could only be observed for the IL direction and the CS, where the youngest age group (10–11-year-olds) achieved better results than the older groups. Sex-specific differences to the girls' advantage could be observed in 12–13-year-olds (i.e., SL and CS), and to the boys' advantage in 14–15-year-olds (i.e., for all reach directions) and 16–17-year-olds (i.e., IL and SL direction and CS). Further, curvilinear developments were observed with regard to the 10<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, and 90<sup>th</sup> percentiles, and were more strongly marked in boys than in girls.

## OPEN ACCESS

**Citation:** Schwiertz G, Bauer J, Muehlbauer T (2021) Upper Quarter Y Balance test performance: Normative values for healthy youth aged 10 to 17 years. PLoS ONE 16(6): e0253144. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253144>

**Editor:** Chris Connaboy, University of Pittsburgh, UNITED STATES

**Received:** November 3, 2020

**Accepted:** May 28, 2021

**Published:** June 18, 2021

**Copyright:** ©2021 Schwiertz et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Data Availability Statement:** All relevant data are within the manuscript.

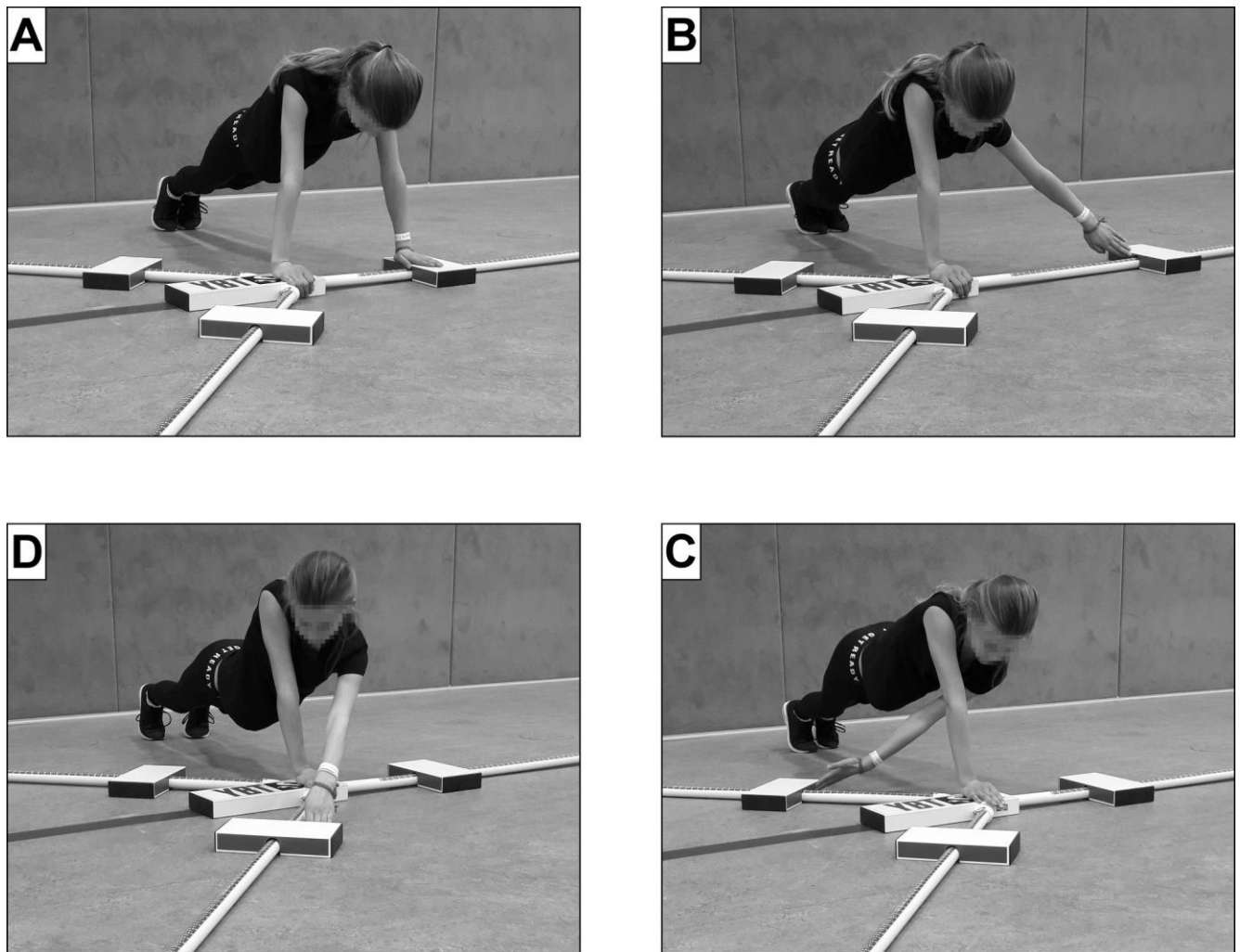
**Funding:** The authors received no specific funding for this work.

**Competing interests:** The authors have declared that no competing interests exist.

## Conclusions

### Introduction

The Upper Quarter Y Balance test (YBT-UQ) is a widely used test procedure carried out in the field to obtain valid and reliable measurements of shoulder mobility/stability in healthy youth [1,2]. Carrying out the YBT-UQ test requires the subject to assume a push-up position on the floor (Fig 1A–1D) supported by one arm and reach as far as possible to the (a) medial (MD), (b) inferolateral (IL), and (c) superolateral (SL) direction with the other arm [3]. In order to enable comparisons between individuals, the absolute reach values achieved (in cm) have to be



**Fig 1.** Setup for the assessment of Upper Quarter Y Balance test performance with A) starting position, B) medial, C) inferolateral, and D) superolateral reach-directions.



normalised according to the individual's arm length (% AL). Although this assessment procedure can reveal performance differences with respect to age (i.e., young vs. old persons) [4], sex (i.e., females vs. males) [5], training status (i.e., untrained vs. trained subjects or athletes with different competition levels) [6,7], previous injuries (e.g., people with and without a history of a shoulder injury) [8], and musculoskeletal injury risk [9], it remains unclear whether the score achieved should be classified as good or poor. However, a classification of the performance level is important, as it enables specifically customised interventions to be derived on the basis of achievement level. For example, one might recommend a programme that boosts motor ability to people achieving poor results, and a programme for talent development to people achieving good ones. To date there have been relatively few studies [4,10,11] that have created age- and/or sex-specific standard values for the YBT-UQ. Moreover, these studies have been confined to investigations of adults. For example, Borms and Cools [10] investigated male and female athletes (handball, volleyball, tennis) aged between 18 to 50 years. The authors found that the 18–25-year-olds achieved significantly better YBT-UQ results than those aged between 26–33 years or 34–50 years. In addition, they reported significantly better YBT-UQ performance in men compared to women. However, it is questionable to directly transfer these findings to children and adolescents, since their physical development is still continuing [12].

Our aim was therefore to investigate YBT-UQ performance in youth and to provide age- and sex-specific normative values. Thus, we used the YBT-UQ to assess upper quarter mobility/stability in healthy females and males aged 10 to 17 years, statistically compare performance data between ages (i.e., 10–11-, 12–13-, 14–15-, and 16–17-year-olds) and gender, and establish age- and sex-specific percentile values. We hypothesized that YBT-UQ performance improves with increasing age and that differences exist between sexes. From a practical perspective, the generation of age- and sex-specific normative values in young persons is useful to identify individuals for health or talent development programmes.

## Methods

### Participants

Six hundred and sixty-five persons (325 girls, 340 boys) aged between 10 and 17 years took part in the study and were divided into the following four age groups: 10–11-year-olds ( $n = 56$ ), 12–13-year-olds ( $n = 175$ ), 14–15-year-olds ( $n = 218$ ), and 16–17-year-olds ( $n = 216$ ) (Table 1). The subjects were recruited from randomly chosen urban public schools in the Ruhr metropolitan area and exhibit a wide physical activity range. This ranges from only participating in mandatory physical education classes to additional sports club participation (2–3 times per week). Pupils were excluded from study participation if they (1) were outside of the age

**Table 1. Characteristics of the study participants ( $N = 665$ ) by age group and sex.**

Age group	10–11 years ( $N = 56$ )		12–13 years ( $N = 175$ )		14–15 years ( $N = 218$ )		16–17 years ( $N = 216$ )	
	f ( $n = 35$ )	m ( $n = 21$ )	f ( $n = 91$ )	m ( $n = 84$ )	f ( $n = 88$ )	m ( $n = 130$ )	f ( $n = 111$ )	m ( $n = 105$ )
Sex								
Body height [cm]	146.9 (9.2)	145.7 (6.7)	160.2 (8.1)	161.3 (11.2)	165.8 (7.4)	177.1 (8.9)	168.0 (8.3)	175.1 (13.1)
Body mass [kg]	39.0 (7.0)	38.0 (6.2)	51.1 (11.6)	49.4 (9.5)	61.7 (11.6)	66.0 (12.3)	64.2 (10.7)	69.4 (13.2)
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	17.9 (1.8)	18.1 (2.7)	19.8 (3.4)	18.8 (2.5)	22.3(3.7)	20.9 (2.7)	22.6 (3.1)	22.5 (3.2)
Left arm length [cm]	73.6 (4.8)	74.1 (4.3)	80.6 (4.7)	81.5 (5.4)	83.9 (4.2)	89.7 (5.3)	86.0 (4.7)	89.4 (5.5)
Right arm length [cm]	73.9 (4.6)	74.1 (4.5)	80.6 (5.2)	81.7 (5.4)	84.2 (4.1)	90.1 (5.3)	86.4 (4.5)	89.7 (5.3)

Data are mean values and standard deviations in parentheses. BMI = body mass index; f = female; m = male.

range 10 to 17 years, (2) had a musculoskeletal, neurological or orthopaedic disorder during the last three months prior to the assessment, (3) had other medical conditions that restricted their ability to execute the YBT-UQ or (4) accomplished the assessment of anthropometric variables or YBT-UQ performance only. Nearly 5–10% of the pupils per class were excluded from study participation because they were not willing to perform the assessment of body mass or the YBT-UQ. Participants' assent and parents' written informed consent were obtained prior to the start of the study. The Human Ethics Committee at the University of Duisburg-Essen, Faculty of Educational Sciences approved the study protocol (approval number: TM\_28.03.18).

### Testing procedures

The length of the left and the right arm of all participants was determined by measuring the distance in centimetres from the spinal process of the 7<sup>th</sup> cervical vertebra (c7, vertebra prominens) to the tip of the middle finger of both arms when they were stretched out sideways, using a tape measure [3]. After this, the participants received a standardised introduction to the test and demonstration of how to carry out the YBT-UQ correctly. Each participant then carried out three practice trials followed by three data-collection trials as recommend by Plisky [3]. Because of the amount of time needed for administering the YBT-UQ (i.e., three practice trials followed by three data-collection trials), two skilled examiners documented the reach distances in a group setting (i.e., examiner-to-pupil ratio: 1 to 5). Prior to commencing this study, both examiners completed a training session on the adequate execution of the YBT-UQ.

### Assessment of YBT-UQ performance

The YBT-UQ was carried out with the help of the YBT Kit (Functional Movement Systems<sup>1</sup>, Chatham, USA). The YBT Kit consists of a central element and three bars arranged in the shape of a Y. These three bars represent the reach directions: MD (to the side), IL (to the side, crossing over), and SL (towards the front). The bars are marked out in one-centimetre sections and fitted with three movable blocks. Based on the recommendations of Plisky [3], the participants' task consisted of first assuming the one-arm push-up position with their left arm, and then pushing the relevant block as far as possible with their free (right) arm—first in the MD direction, then in the IL direction, and finally in the SL direction (Fig 1A–1D). Following this, the sequence was carried out with the right arm as supporting arm and the left as reaching arm. A trial was determined as failed and was repeated if any of the following criteria happened: 1) the subject did not maintain the one-arm push-up position at any point during the trial (i.e., touched down to the floor with the reach hand), 2) the subject did not maintain reach hand contact with the reach indicator (i.e., shoved the reach indicator), 3) the subject used the reach indicator for support (i.e., placed reach hand on top of the reach indicator), 4) the subject did not return the reach hand to the starting position under control, or 5) the subject lifted either foot off the ground. Readings for the absolute reach, in centimetres, of each arm in each direction were taken as dependent variables. Interrater reliability has previously been shown to be excellent (i.e., 0.98  $\leq$  ICC  $\leq$  1.00) for the YBT-UQ [13,14].

### Data and statistical analyses

For statistical analysis purposes, the readings for absolute maximum values (in cm) per reach direction were normalised (% AL) according to upper-extremity length (separately for the left and right arm). Further, a relative (% AL) composite score (CS) per arm was calculated, by dividing the sum of the absolute maximum reach distance (in cm) in each reach direction by three times the AL (in cm) and then multiplying the result by 100. The determination of the



CS enables a general, i.e. direction-unspecific comparison of the test results while taking into account differing limb lengths [14,15]. Data are presented as group mean values ± standard deviations. Normal distribution of data across all sex by age groups was examined using the Shapiro Wilk test ( $p > 0.05$ ). Multivariate analyses of variance (MANOVA) were performed to demonstrate whether the hypothesized differences in YBT-UQ performance between the four age groups and between girls and boy are statistically significant. If significant differences emerged, post-hoc tests were carried out. As a measurement of effect size, the partial eta squared ( $\eta_p^2$ ) was also determined, and classified as small ( $0.02 \leq \eta_p^2 \leq 0.12$ ), medium ( $0.13 \leq \eta_p^2 \leq 0.25$ ), and large ( $\eta_p^2 \geq 0.26$ ) in accordance with Cohen [16]. Additionally, age- and sex-specific percentiles were compiled in tabular form (5<sup>th</sup> to 95<sup>th</sup> percentiles) with 95% confidence interval and in graphic form (10<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, and 90<sup>th</sup> percentiles). All statistical calculations were carried out using SPSS, Version 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

## Results

### Age- and sex-specific YBT-UQ performance differences

Table 2 shows the mean values and standard deviations of normalised YBT-UQ (% AL) performance, subdivided according to age group and gender. Irrespective of reaching arm and reach direction, the MANOVA yielded a significant main effect of age in boys (all  $p < 0.001$ ; range:  $0.05 \leq \eta_p^2 \leq 0.14$ ). For the MD direction, the post-hoc analysis revealed significantly greater values for the 14–15-year-olds compared with the 12–13-year-olds (left/right arm reach:  $p < 0.001$ ) and the 16–17-year-olds (left/right arm reach:  $p < 0.001$ ). For the IL direction, significantly larger values for the 14–15-year-olds emerged compared with the 12–13-year-olds (left/right arm reach:  $p < 0.001$ ). For the SL direction, the analysis yielded significantly lower values for the 12–13-year-olds compared with the 10–11-year-olds (left arm reach:  $p = 0.039$ ), the 14–15-year-olds (left/right arm reach:  $p < 0.001$ ), and the 16–17-year-olds (left/right arm reach:  $p < 0.001$ ). Finally, the CS for the 12–13-year-olds was significantly lower than that for the 10–11-year-olds (left arm reach:  $p = 0.015$ ; right arm reach:  $p = 0.045$ ), the 14–15-year-olds (left/right arm reach:  $p < 0.001$ ), and the 16–17-year-olds (left/right arm reach:  $p < 0.001$ ).

In girls, the MANOVA showed a significant main effect of age only for the IL direction (left arm reach:  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.07$ ; right arm reach:  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.08$ ) and the CS (right arm reach:  $p = 0.031$ ,  $\eta_p^2 = 0.03$ ). For the IL direction, the subsequent post-hoc analysis yielded significantly higher values for the 10–11-year-olds compared with the 12–13-year-olds (left arm

Table 2. Upper Quarter Y Balance test performance (% arm length) by age group and sex.

Age group	10–11 years (N = 56)		12–13 years (N = 175)		14–15 years (N = 218)		16–17 years (N = 216)	
	f (n = 35)	m (n = 21)	f (n = 91)	m (n = 84)	f (n = 88)	m (n = 130)	f (n = 111)	m (n = 105)
<i>Right arm reach</i>								
Medial	100.7 (10.9)	100.1 (7.9)	95.7 (11.7)	92.9 (10.3)	98.3 (10.3)	104.1 (12.3)	96.6 (14.5)	96.5 (15.6)
Inferolateral	98.4 (17.4)	95.4 (14.5)	88.4 (13.7)	86.0 (16.3)	84.1 (13.1)	97.7 (15.8)	85.2 (15.8)	92.0 (20.6)
Superolateral	73.0 (15.2)	69.7 (17.1)	69.0 (12.5)	63.0 (12.9)	70.7 (14.4)	76.2 (13.5)	72.1 (15.5)	76.8 (16.0)
Composite score	90.7 (12.9)	88.4 (11.9)	84.5 (11.1)	80.5 (10.9)	84.3 (10.8)	92.6 (11.9)	84.6 (12.3)	88.4 (12.8)
<i>Left arm reach</i>								
Medial	98.2 (9.3)	99.5 (9.0)	95.8 (11.0)	93.1 (11.1)	96.9 (9.3)	103.7 (11.8)	94.9 (13.0)	95.8 (15.5)
Inferolateral	96.6 (14.6)	97.0 (14.4)	88.8 (14.7)	85.9 (14.5)	83.1 (12.5)	95.7 (15.8)	84.9 (15.6)	91.1 (21.0)
Superolateral	71.4 (12.8)	70.7 (15.9)	67.3 (12.0)	60.9 (13.0)	69.2 (14.2)	73.7 (14.0)	70.4 (15.4)	74.6 (16.4)
Composite score	88.7 (11.0)	89.1 (11.9)	84.0 (11.1)	80.1 (11.4)	83.1 (10.1)	91.1 (11.9)	83.4 (11.9)	87.2 (13.0)

Values are mean values and standard deviations in parentheses. f = female; m = male.

reach:  $p = 0.043$ , right arm reach:  $p = 0.005$ ), the 14–15-year-olds (left/right arm reach:  $p < 0.001$ ), and the 16–17-year-olds (left/right arm reach:  $p < 0.001$ ). Further, the CS for the 10–11-year-olds was also significantly greater than that for the 12–13-year-olds (right arm reach:  $p = 0.044$ ), the 14–15-year-olds (right arm reach:  $p = 0.037$ ), and the 16–17-year-olds (right arm reach:  $p = 0.045$ ).

In 10–11-year-olds, there were no significant differences between girls and boys. However, significant sex differences were revealed in the case of the 12–13-year-olds with regard to the SL direction (left arm reach:  $p = 0.001$ , right arm reach:  $p = 0.002$ ) and the CS (left arm reach:  $p = 0.026$ , right arm reach:  $p = 0.020$ ) in favour of the females. Contrary, all values ( $p \leq 0.021$ ) for the 14–15-year-olds, irrespective of reaching arm and reach direction, came out to the males' advantage. In the case of the 16–17-year-olds as well, the boys achieved significantly higher values than the girls for the IL direction (left arm reach:  $p = 0.014$ , right arm reach:  $p = 0.007$ ), the SL direction (right arm reach:  $p = 0.029$ ), and the CS (left arm reach:  $p = 0.026$ , right arm reach:  $p = 0.027$ ).

### Age- and sex-specific YBT-UQ percentile values

Table 3 (right arm reach), Table 4 (left arm reach) and Fig 2A–2D show the age-specific percentile values for the boys. Irrespective of reaching arm, we detected curvilinear developments. More specifically, the values for 10–11-year-olds were similar to those for the 14–15-year-olds, but higher than the values for the 12–13-year-olds and, in part (MD direction), also higher than the values for the 16–17-year-olds.

Table 5 (right arm reach), Table 6 (left arm reach) and Fig 3A–3D illustrate the age-specific percentile values for the girls. In contrast to the boys, these displayed less strongly pronounced curvilinear developments. Particularly noticeable are the higher values in 10–11-year-olds, which decrease in 12–13- and 14–15-year-olds and finally stabilise (MD and SL direction) or increase slightly again (IL direction) in 16–17-year-olds.

### Discussion

The objective was to investigate the YBT-UQ performance of boys and girls aged between 10 and 17 years and to provide age- and sex-specific normative values. The key findings may be summarised as follows. Among other age-specific differences, the 14–15-year-old boys achieved better values (e.g., in the MD direction) compared with the younger (12–13-year-olds) and older (16–17-year-olds) ones. In the case of the girls, better YBT-UQ performance in 10–11-year-olds compared with the higher age groups was only observed for the IL direction and the CS. With regard to sex-specific differences, better values in favour of girls emerged in 12–13-year-olds (SL direction and CS), and in favour of boys in 14–15-year-olds (all reach directions) and in 16–17-year-olds (IL and SL direction and CS). Further, curvilinear developments were observed with regard to the 10<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, and 90<sup>th</sup> percentiles, and were less strongly marked in girls than in boys.

### Age and sex differences in YBT-UQ performance

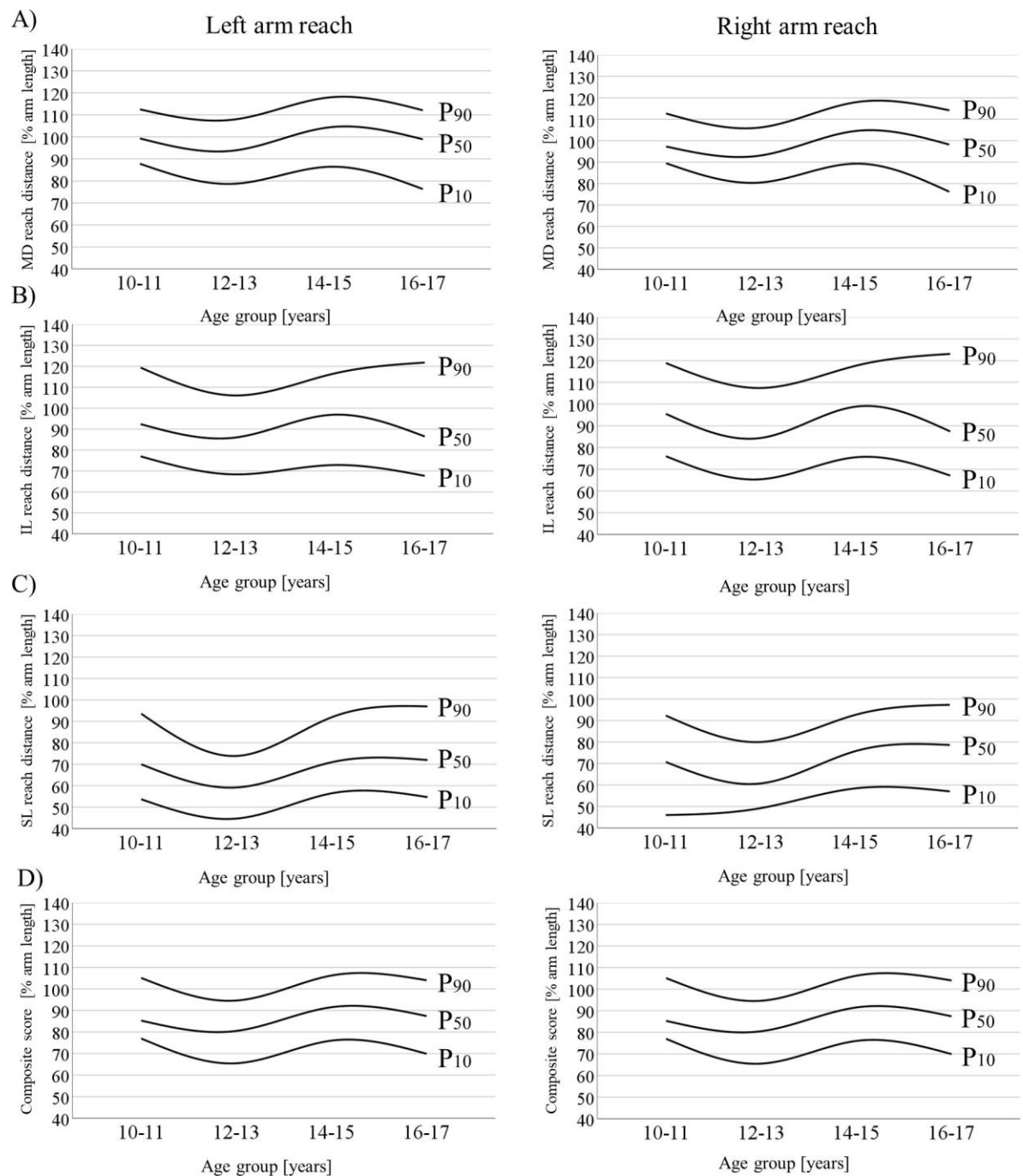
The first hypothesis made was that YBT-UQ performance improves with increasing age. Despite the fact that the 14–15-year-old boys showed better values (MD and IL direction) than the 12–13-year-old boys, they also achieved better values (MD direction) than the 16–17-year-old boys. In addition, although the 12–13-year-old boys achieved lower values (SL direction) than the 14–15- and 16–17-year-old boys, they also achieved lower values than the 10–11-year-old boys. In the case of the girls, it is true that a significant age-specific difference emerged for one of the three reach directions only (IL direction) and for the CS. However, the

**Table 3. Smoothed age-specific percentile values with 95% confidence interval for the normalized (% arm length) maximal right arm reach distances and the composite score in males (*n* = 340) aged 10 to 17 years.**

Outcome	5 <sup>th</sup>	10 <sup>th</sup>	20 <sup>th</sup>	30 <sup>th</sup>	40 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	60 <sup>th</sup>	70 <sup>th</sup>	80 <sup>th</sup>	90 <sup>th</sup>	95 <sup>th</sup>
<b>Medial</b>											
10–11 yrs ( <i>n</i> = 21)	87.2 (86.2– 89.6)	89.5 (86.9– 94.5)	94.5 (93.6– 95.5)	96.1 (96.1– 96.2)	96.7 (96.1– 96.9)	97.3 (97.0– 97.9)	100.3 (99.3– 102.0)	104.6 (103.3– 106.1)	107.5 (105.8– 108.9)	112.7 (106.1– 116.2)	117.9 (111.4– 120.7)
12–13 yrs ( <i>n</i> = 84)	71.2 (69.4– 76.6)	80.5 (76.8– 81.5)	85.2 (83.6– 85.7)	88.5 (87.6– 88.8)	90.1 (90.0– 90.6)	93.1 (92.3– 93.8)	95.1 (94.9– 95.8)	99.0 (98.7– 99.2)	102.6 (100.6– 102.7)	106.2 (105.3– 106.8)	107.9 (106.7– 111.9)
14–15 yrs ( <i>n</i> = 130)	85.9 (77.0– 87.5)	89.3 (88.3– 90.1)	94.1 (92.7– 94.4)	97.9 (97.1– 98.4)	101.8 (101.0– 102.2)	104.5 (104.2– 105.3)	107.6 (107.1– 107.9)	111.0 (110.4– 111.4)	113.9 (113.2– 114.7)	117.9 117.7– 120.5	124.1 (121.6– 128.1)
16–17 yrs ( <i>n</i> = 105)	65.3 (59.3– 69.4)	76.2 (71.2– 77.3)	84.5 (82.8– 86.1)	90.2 (89.4– 91.8)	95.3 (94.6– 95.9)	98.2 (97.7– 98.4)	101.2 (100.2– 101.6)	105.0 (104.1– 105.8)	108.5 (107.9– 109.3)	114.2 (113.3– 117.1)	121.6 (117.8– 125.3)
<b>Inferolateral</b>											
10–11 yrs ( <i>n</i> = 21)	68.3 (63.9– 78.9)	76.0 (72.5– 82.6)	82.4 (82.1– 82.9)	87.9 (87.3– 88.4)	90.6 (88.6– 91.6)	95.5 (93.0– 96.3)	98.9 (98.6– 99.1)	100.9 (99.3– 102.2)	105.5 (102.9– 107.6)	118.9 (107.2– 125.1)	126.9 (117.4– 130.9)
12–13 yrs ( <i>n</i> = 84)	61.1 (60.3– 65.5)	65.4 (63.6– 67.3)	70.9 (70.1– 72.2)	76.3 (75.7– 77.7)	81.4 (80.7– 82.1)	84.4 (84.0– 85.4)	89.2 (88.2– 90.4)	94.3 (94.0– 95.9)	98.8 (97.8– 100.3)	107.4 (104.2– 112.0)	120.3 (113.4– 123.0)
14–15 yrs ( <i>n</i> = 130)	71.2 (65.9– 72.4)	75.5 (74.3– 77.2)	82.8 (81.6– 83.2)	86.9 (86.4– 89.4)	95.8 (94.4– 95.9)	98.8 (98.0– 98.9)	102.6 (101.9– 103.8)	108.3 (107.8– 109.6)	114.4 (112.8– 114.6)	117.6 (117.3– 118.6)	120.3 (119.1– 121.7)
16–17 yrs ( <i>n</i> = 105)	63.5 (59.8– 66.1)	67.1 (65.9– 68.5)	75.8 (73.9– 76.5)	79.8 (79.2– 80.6)	84.0 (83.7– 84.3)	87.4 (86.6– 87.8)	92.2 (91.6– 93.0)	98.1 (96.3– 100.8)	112.0 (111.1– 114.5)	123.1 (120.4– 126.9)	131.1 (128.7– 138.7)
<b>Superolateral</b>											
10–11 yrs ( <i>n</i> = 21)	36.2 (31.1– 48.1)	46.0 (39.1– 59.0)	55.0 (53.5– 56.9)	58.2 (55.6– 60.3)	59.6 (59.0– 60.6)	70.7 (68.1– 72.2)	74.7 (71.4– 80.9)	82.8 (77.4– 89.4)	89.6 (86.1– 92.5)	92.3 (91.3– 92.9)	93.3 (92.1– 93.9)
12–13 yrs ( <i>n</i> = 84)	44.6 (40.7– 46.6)	49.2 (47.2– 49.9)	52.2 (51.7– 52.9)	55.2 (54.7– 55.7)	56.8 (56.5– 57.8)	60.7 (59.7– 61.4)	65.5 (64.2– 66.2)	69.8 (69.4– 70.2)	74.4 (73.2– 75.4)	80.0 (78.9– 83.7)	87.3 (83.3– 93.4)
14–15 yrs ( <i>n</i> = 130)	51.8 (49.9– 55.3)	58.4 (56.7– 59.7)	65.6 (63.9– 66.1)	69.9 (69.1– 70.3)	73.0 (72.4– 73.2)	75.7 (75.3– 76.5)	80.0 (79.2– 80.2)	82.2 (82.1– 83.6)	87.1 (86.8– 88.5)	92.6 (91.9– 95.0)	99.1 (97.2– 104.5)
16–17 yrs ( <i>n</i> = 105)	52.1 (47.3– 54.0)	57.0 (54.1– 57.5)	61.7 (60.3– 61.9)	66.9 (66.2– 68.5)	71.0 (70.7– 72.2)	78.6 (76.7– 79.0)	81.1 (80.6– 81.2)	84.3 (83.6– 85.3)	90.1 (89.7– 92.4)	97.3 (96.6– 101.3)	105.8 (102.4– 109.4)
<b>Composite score</b>											
10–11 yrs ( <i>n</i> = 21)	69.9 (66.8– 77.2)	74.7 (74.1– 74.9)	75.7 (73.5– 78.5)	80.4 (80.0– 80.7)	81.6 (81.1– 82.0)	88.5 (82.0– 92.8)	94.7 (94.3– 95.6)	95.9 (95.8– 96.0)	98.8 (94.4– 102.4)	105.2 (99.8– 108.1)	112.4 (102.7– 116.6)
12–13 yrs ( <i>n</i> = 84)	64.4 (59.3– 66.4)	67.2 (66.4– 67.8)	71.5 (69.8– 71.7)	74.8 (73.8– 75.4)	77.4 (76.6– 77.6)	79.5 (78.7– 80.1)	83.0 (82.4– 83.7)	86.5 (86.0– 87.2)	90.0 (89.0– 91.4)	95.0 (93.9– 96.2)	100.5 (96.8– 103.8)
14–15 yrs ( <i>n</i> = 130)	73.4 (69.0– 74.4)	77.1 (75.5– 77.5)	81.8 (80.3– 82.0)	85.3 (84.8– 86.3)	89.9 (89.1– 90.0)	93.3 (93.0– 94.0)	96.3 (96.2– 97.2)	100.4 (99.6– 101.0)	103.3 (103.0– 104.0)	106.8 (106.7– 108.2)	110.3 (109.1– 114.0)
16–17 yrs ( <i>n</i> = 105)	67.0 (64.0– 69.4)	72.1 (70.0– 73.1)	77.0 (76.4– 78.0)	80.6 (80.1– 81.8)	85.3 (84.9– 85.6)	88.0 (87.6– 88.6)	91.2 (90.8– 91.5)	94.0 (93.2– 94.8)	100.6 (99.1– 101.5)	107.0 (105.8– 108.0)	110.9 (108.9– 113.7)

**Table 4. Smoothed age-specific percentile values with 95% confidence interval for the normalized (% arm length) maximal left arm reach distances and the composite score in males (n = 340) aged 10 to 17 years.**

Outcome	5 <sup>th</sup>	10 <sup>th</sup>	20 <sup>th</sup>	30 <sup>th</sup>	40 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	60 <sup>th</sup>	70 <sup>th</sup>	80 <sup>th</sup>	90 <sup>th</sup>	95 <sup>th</sup>
<b>Medial</b>											
10–11 yrs (n = 21)	86.8 (86.3–88.1)	87.8 (87.3–88.8)	90.8 (89.8–92.0)	93.8 (93.7–93.9)	95.8 (93.3–97.1)	99.3 (97.1–100.5)	102.1 (102.0–102.4)	102.9 (101.2–105.1)	109.0 (105.3–111.9)	112.5 (111.7–113.0)	118.3 (109.6–121.9)
12–13 yrs (n = 84)	74.4 (68.7–77.8)	78.7 (77.5–79.7)	81.8 (81.2–84.0)	87.4 (87.2–87.9)	91.6 (90.2–91.8)	93.8 (93.1–94.0)	95.2 (94.9–96.3)	98.7 (98.0–99.8)	104.1 (102.7–104.8)	107.9 (107.2–109.3)	110.7 (109.6–112.6)
14–15 yrs (n = 130)	80.9 (77.5–83.9)	86.4 (85.7–89.0)	94.1 (93.4–94.7)	98.9 (97.6–99.1)	101.8 (100.8–101.9)	104.3 (103.7–104.7)	108.4 (107.5–108.9)	110.6 (110.3–111.2)	113.2 (112.6–113.5)	117.9 (117.2–119.8)	122.0 (121.0–124.7)
16–17 yrs (n = 105)	66.6 (57.9–69.7)	76.3 (71.1–77.3)	84.1 (81.8–84.5)	89.5 (88.4–90.2)	94.7 (94.2–95.3)	98.9 (97.7–99.0)	101.2 (100.8–102.0)	104.9 (104.5–105.8)	108.0 (107.8–108.6)	112.1 (111.0–115.3)	117.8 (116.2–123.4)
<b>Inferolateral</b>											
10–11 yrs (n = 21)	75.8 (75.1–77.4)	77.7 (74.6–83.7)	84.8 (82.9–87.1)	87.0 (86.3–87.6)	88.7 (87.5–89.3)	92.4 (89.5–95.0)	101.3 (96.8–109.8)	107.9 (107.3–108.5)	113.9 (112.9–114.8)	119.4 (112.1–120.8)	120.9 (120.4–121.1)
12–13 yrs (n = 84)	62.4 (58.9–65.6)	68.4 (66.2–70.2)	73.9 (73.1–74.4)	78.0 (77.3–78.7)	81.4 (80.6–82.3)	86.0 (85.3–86.8)	89.2 (88.6–89.4)	90.7 (90.2–91.2)	95.7 (94.4–97.6)	106.1 (103.8–109.4)	113.7 (109.6–120.6)
14–15 yrs (n = 130)	67.4 (65.7–69.7)	72.8 (70.7–74.0)	81.8 (80.9–82.1)	85.5 (84.8–87.1)	91.9 (91.0–82.3)	96.8 (95.9–97.7)	101.6 (101.2–102.4)	105.3 (105.1–106.6)	110.6 (109.7–111.4)	116.1 (115.3–117.1)	119.3 (118.2–122.8)
16–17 yrs (n = 105)	63.7 (59.4–65.3)	67.7 (66.4–69.1)	72.5 (72.0–73.2)	78.0 (76.7–79.0)	81.8 (81.2–83.7)	86.5 (85.9–87.4)	90.8 (90.1–92.3)	97.9 (96.3–100.8)	111.4 (109.5–113.1)	121.8 (120.0–126.6)	134.0 (129.0–139.0)
<b>Superolateral</b>											
10–11 yrs (n = 21)	40.6 (32.2–60.4)	53.7 (53.2–54.5)	56.1 (54.6–57.8)	57.4 (57.1–57.6)	62.2 (61.4–62.6)	70.0 (67.7–72.1)	78.8 (77.3–81.8)	83.3 (80.9–86.2)	85.3 (85.0–85.4)	93.6 (85.6–97.9)	97.3 (93.6–98.8)
12–13 yrs (n = 84)	42.4 (39.6–43.5)	44.7 (43.7–46.5)	50.6 (49.7–51.1)	53.9 (53.6–54.5)	57.5 (56.4–58.2)	59.2 (59.1–60.0)	62.8 (62.1–63.9)	67.5 (66.3–67.8)	68.8 (68.5–70.6)	73.9 (73.6–79.1)	84.1 (77.7–97.1)
14–15 yrs (n = 130)	49.0 (46.5–52.8)	56.5 (54.6–58.0)	62.8 (61.9–63.3)	65.9 (65.5–66.4)	68.8 (68.5–69.1)	71.0 (70.7–72.6)	77.2 (76.3–77.9)	80.9 (80.6–81.6)	86.3 (85.4–87.7)	92.0 (91.5–94.4)	97.8 (95.4–101.3)
16–17 yrs (n = 105)	51.1 (44.1–52.7)	54.7 (53.2–55.6)	59.6 (58.9–60.8)	64.7 (64.0–65.6)	68.7 (68.0–68.8)	72.0 (71.6–73.2)	77.8 (76.5–78.9)	82.3 (81.8–84.4)	91.4 (89.8–92.4)	97.0 (96.0–100.2)	104.0 (101.0–107.5)
<b>Composite score</b>											
10–11 yrs (n = 21)	69.0 (64.8–80.8)	77.0 (76.1–78.6)	78.7 (77.9–79.7)	79.7 (79.2–80.1)	80.6 (79.7–81.1)	85.3 (83.1–89.1)	94.2 (90.9–100.4)	98.3 (98.0–98.6)	103.0 (101.4–104.3)	105.1 (103.4–106.0)	109.0 (103.5–111.3)
12–13 yrs (n = 84)	62.9 (58.3–64.5)	65.5 (63.8–66.8)	70.4 (69.7–71.2)	72.9 (72.5–73.1)	76.8 (75.9–78.2)	80.5 (80.2–80.9)	82.1 (81.7–82.7)	84.9 (84.5–85.4)	89.1 (87.7–89.8)	94.6 (93.0–96.0)	101.0 (97.1–107.4)
14–15 yrs (n = 130)	71.6 (68.6–72.7)	76.0 (73.6–76.2)	79.0 (78.6–80.2)	83.5 (82.7–84.4)	88.7 (87.7–89.1)	91.5 (91.0–92.2)	95.3 (94.8–96.0)	99.4 (98.3–99.5)	101.3 (101.1–102.8)	106.2 (105.9–107.5)	109.6 (108.1–111.9)
16–17 yrs (n = 105)	67.1 (63.3–68.5)	69.9 (69.0–71.1)	74.9 (73.7–75.5)	79.4 (78.1–79.7)	83.9 (82.9–84.4)	87.4 (86.6–88.1)	90.9 (90.3–91.3)	95.4 (93.8–95.5)	99.0 (98.1–99.8)	104.0 (102.9–105.5)	108.6 (106.4–113.4)



**Fig 2.** Smoothed curves for the 10<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, and 90<sup>th</sup> percentiles (% arm length) of the (A) medial, (B) inferolateral, and (C) superolateral reach directions as well as the (D) composite score during left and right arm reach in males aged 10 to 17 years. IL = inferolateral;

MD = medial; SL = superolateral.

10–11-year-old girls achieved better performance than the older age groups. A possible explanation for our findings might be given by considering the growth and maturation processes taking place in childhood and adolescence. These do not happen in a linear fashion but in a multi-tiered progression [17], and are accompanied by changes in performance level that are varyingly pronounced even over equal time periods [18]. Moreover, the growth and

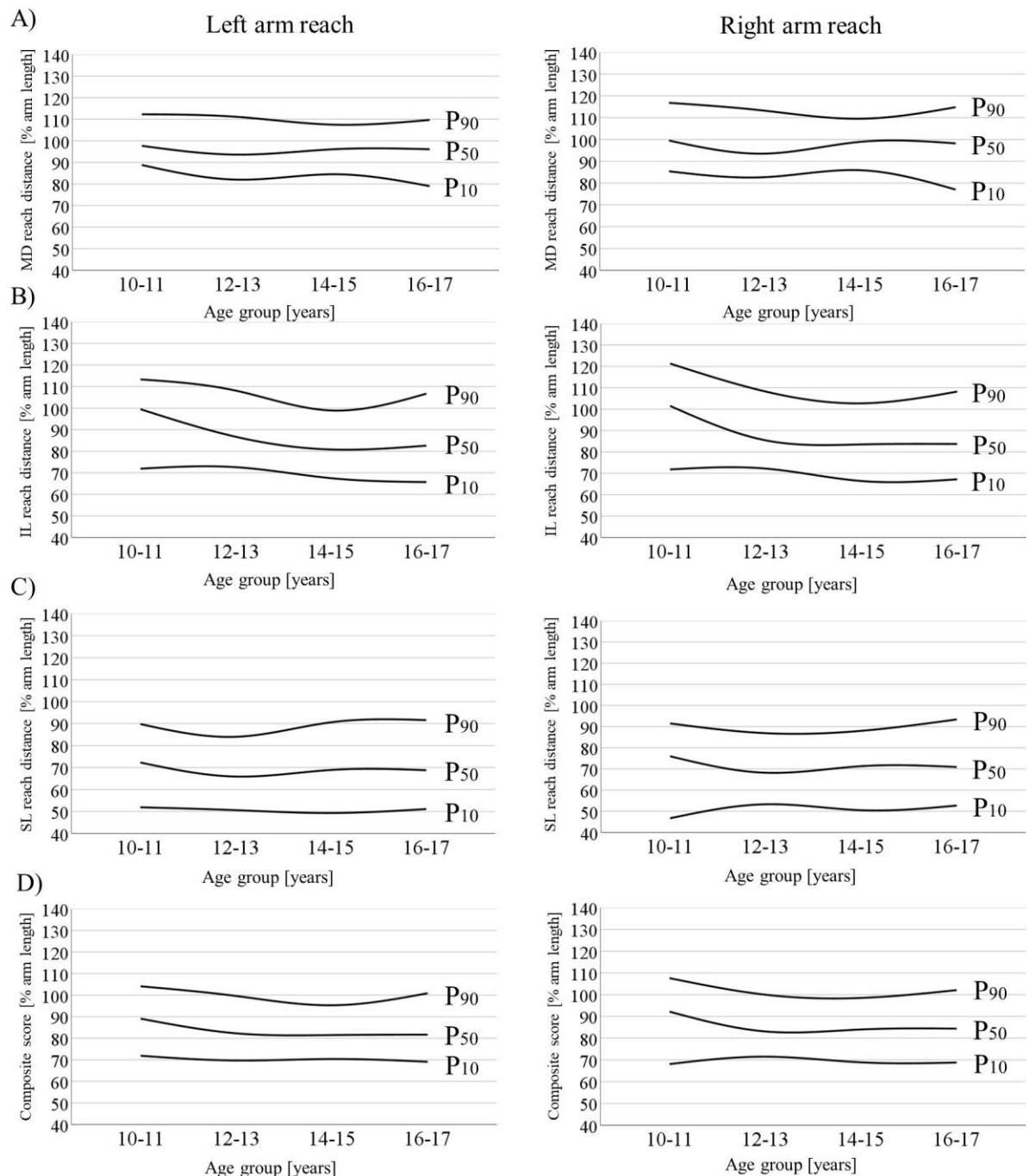
**Table 5. Smoothed age-specific percentile values with 95% confidence interval for the normalized (% arm length) maximal right arm reach distances and the composite score in females (n = 325) aged 10 to 17 years.**

Outcome	5 <sup>th</sup>	10 <sup>th</sup>	20 <sup>th</sup>	30 <sup>th</sup>	40 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	60 <sup>th</sup>	70 <sup>th</sup>	80 <sup>th</sup>	90 <sup>th</sup>	95 <sup>th</sup>
<b>Medial</b>											
10–11 yrs (n = 35)	81.9 (74.9–87.2)	85.4 (83.1–89.5)	93.3 (91.8–94.5)	95.4 (94.8–95.8)	98.0 (96.8–98.9)	99.5 (99.3–99.6)	101.1 (100.1–101.2)	105.3 (104.5–106.9)	111.2 (110.2–112.8)	116.8 (113.5–121.1)	122.4 (118.7–124.7)
12–13 yrs (n = 91)	79.2 (75.3–81.5)	82.7 (81.2–83.3)	84.9 (84.5–85.6)	88.1 (87.5–88.7)	91.6 (91.2–92.1)	93.5 (93.4–94.4)	96.8 (96.4–98.2)	101.2 (100.1–101.9)	105.4 (104.8–107.3)	113.2 (111.6–115.1)	117.6 (115.2–121.5)
14–15 yrs (n = 88)	83.4 (75.8–86.0)	85.9 (85.7–86.8)	89.1 (88.5–90.5)	92.6 (92.5–93.2)	95.4 (95.0–96.1)	98.9 (98.0–99.8)	101.5 (100.9–101.9)	103.4 (102.7–103.4)	105.5 (104.7–106.0)	109.5 108.6–112.9	117.4 (114.5–121.9)
16–17 yrs (n = 111)	70.7 (68.6–73.9)	77.0 (74.7–77.9)	83.0 (82.5–83.9)	88.2 (87.3–88.9)	93.0 (92.2–93.5)	98.2 (96.8–98.9)	101.3 (100.5–101.5)	104.9 (104.4–105.9)	109.4 (108.7–109.9)	114.8 (113.8–116.4)	118.3 (116.4–124.4)
<b>Inferolateral</b>											
10–11 yrs (n = 35)	68.1 (65.6–71.6)	71.8 (69.3–74.0)	82.7 (78.8–85.4)	89.3 (86.9–91.6)	94.1 (92.4–95.4)	101.5 (99.1–102.3)	103.2 (101.7–105.3)	110.6 (107.2–112.3)	114.2 (112.5–117.3)	121.3 (118.9–123.9)	126.3 (119.8–134.7)
12–13 yrs (n = 91)	69.5 (67.8–70.6)	72.2 (70.6–72.6)	76.8 (75.2–77.3)	79.4 (79.1–80.4)	82.7 (82.3–83.3)	85.4 (84.8–85.7)	89.0 (87.4–90.6)	95.9 (94.6–96.7)	101.6 (100.3–103.2)	108.2 (107.5–109.8)	112.4 (110.3–118.4)
14–15 yrs (n = 88)	62.1 (60.1–64.3)	66.4 (64.9–68.1)	72.1 (71.2–72.6)	77.0 (75.4–78.1)	79.9 (79.5–81.5)	83.5 (83.3–83.7)	85.6 (84.7–87.0)	91.8 (91.1–92.4)	96.1 (95.1–97.1)	102.7 (101.1–104.5)	107.7 (105.6–109.7)
16–17 yrs (n = 111)	63.1 (57.5–65.0)	67.2 (65.3–67.8)	70.9 (69.9–71.7)	74.9 (74.0–75.5)	78.1 (78.0–79.6)	83.7 (82.6–84.5)	88.3 (87.8–89.1)	92.9 (91.8–93.6)	99.5 (98.3–101.1)	108.2 (106.4–109.3)	112.2 (108.8–113.5)
<b>Superolateral</b>											
10–11 yrs (n = 35)	43.7 (42.4–45.3)	46.7 (43.8–50.4)	55.8 (53.4–60.2)	68.1 (66.7–69.9)	73.5 (72.1–74.2)	76.0 (74.3–77.1)	80.1 (79.1–80.8)	81.3 (80.7–82.7)	87.7 (83.8–89.9)	91.5 (90.6–92.3)	92.8 (91.1–94.6)
12–13 yrs (n = 91)	50.1 (46.9–52.4)	53.3 (52.1–54.1)	57.8 (57.2–58.0)	60.6 (60.0–61.8)	64.8 (64.0–65.2)	68.2 (67.5–68.6)	70.4 (69.8–71.8)	76.3 (74.8–77.1)	81.2 (80.1–81.9)	86.9 (86.2–89.6)	91.8 (89.6–93.3)
14–15 yrs (n = 88)	44.6 (42.1–47.1)	50.5 (48.1–51.9)	58.8 (56.0–60.0)	64.0 (63.5–64.4)	67.1 (66.4–67.9)	71.3 (69.9–71.6)	74.9 (73.5–75.3)	80.1 (78.0–80.7)	84.0 (83.3–84.5)	88.0 (86.7–89.3)	92.4 (89.3–100.2)
16–17 yrs (n = 111)	49.3 (44.1–51.6)	52.7 (51.7–53.4)	57.5 (56.6–58.8)	62.6 (62.3–64.1)	67.4 (67.1–68.2)	70.9 (70.4–71.5)	75.1 (74.5–76.1)	79.5 (79.1–81.0)	85.3 (84.2–86.7)	93.4 (92.3–95.5)	98.2 (96.3–104.9)
<b>Composite score</b>											
10–11 yrs (n = 35)	66.1 (65.3–68.1)	68.1 (66.7–69.1)	78.3 (76.4–84.3)	87.1 (86.8–87.8)	89.8 (88.2–91.4)	92.2 (92.1–92.5)	94.2 (93.6–94.6)	97.1 (96.1–98.1)	101.2 (100.3–102.0)	107.6 (105.8–109.4)	110.6 (107.1–115.6)
12–13 yrs (n = 91)	68.5 (66.0–69.8)	71.5 (70.1–72.0)	74.6 (74.1–75.0)	76.4 (76.3–77.5)	79.7 (79.9–80.0)	83.1 (82.3–83.5)	86.3 (85.4–87.1)	89.9 (89.6–91.4)	96.9 (95.9–97.5)	100.0 (99.2–102.1)	104.9 (102.4–106.4)
14–15 yrs (n = 88)	64.3 (62.6–65.7)	68.9 (66.3–70.5)	76.6 (74.7–76.9)	78.6 (78.2–78.7)	80.4 (79.8–81.1)	84.0 (83.5–84.7)	87.9 (87.7–88.1)	90.8 (89.9–91.7)	94.1 (93.8–94.7)	98.5 (97.1–99.8)	101.9 (100.6–104.0)
16–17 yrs (n = 111)	65.9 (60.2–67.1)	68.8 (67.6–70.4)	74.6 (73.7–74.8)	78.4 (77.2–78.7)	80.2 (80.1–80.7)	84.4 (83.0–85.0)	88.1 (87.3–88.4)	90.9 (90.1–91.3)	94.3 (93.6–96.0)	102.1 (101.2–103.0)	104.8 (103.9–108.1)



**Table 6. Smoothed age-specific percentile values with 95% confidence interval for the normalized (% arm length) maximal left arm reach distances and the composite score in females (n = 325) aged 10 to 17 years.**

Outcome	5 <sup>th</sup>	10 <sup>th</sup>	20 <sup>th</sup>	30 <sup>th</sup>	40 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	60 <sup>th</sup>	70 <sup>th</sup>	80 <sup>th</sup>	90 <sup>th</sup>	95 <sup>th</sup>
<b>Medial</b>											
10–11 yrs (n = 35)	78.3 (73.1–88.9)	88.8 (81.6–91.3)	90.6 (90.2–91.7)	93.3 (92.4–93.7)	95.9 (94.8–96.5)	97.7 (97.2–98.6)	99.8 (99.2–100.4)	102.6 (101.6–103.5)	104.8 (103.6–107.6)	112.3 (109.0–116.1)	116.5 (114.7–117.3)
12–13 yrs (n = 91)	80.3 (76.5–81.5)	82.0 (81.3–83.4)	86.7 (86.2–87.6)	89.3 (89.0–89.8)	91.4 (91.0–92.0)	93.6 (93.5–94.9)	97.6 (96.6–98.1)	100.4 (99.4–101.5)	107.0 (105.6–107.4)	111.1 (110.3–113.9)	116.5 (113.7–119.0)
14–15 yrs (n = 88)	82.2 (79.7–83.4)	84.5 (83.8–85.4)	87.6 (87.5–88.5)	92.2 (91.6–92.6)	93.9 (93.5–94.3)	96.1 (95.7–97.0)	100.0 (98.7–100.3)	102.4 (101.5–102.6)	105.7 (104.6–106.0)	107.5 (107.3–109.8)	112.9 (110.8–116.9)
16–17 yrs (n = 111)	72.3 (68.1–75.3)	79.0 (76.4–79.6)	82.9 (81.9–83.8)	87.8 (87.3–89.2)	92.5 (92.1–93.6)	96.1 (95.7–96.9)	98.2 (98.0–98.5)	101.4 (100.3–101.9)	106.1 (105.0–106.3)	109.7 (109.3–111.9)	115.6 (112.5–121.2)
<b>Inferolateral</b>											
10–11 yrs (n = 35)	67.7 (66.6–70.5)	71.9 (68.6–73.7)	85.2 (80.4–87.1)	93.3 (92.8–93.8)	94.8 (93.9–96.0)	99.5 (96.6–100.8)	101.3 (100.8–101.7)	104.9 (104.0–106.5)	108.9 (107.7–110.7)	113.3 (111.6–118.1)	120.6 (113.6–125.0)
12–13 yrs (n = 91)	67.1 (63.4–69.7)	72.6 (70.0–72.9)	76.0 (75.4–76.4)	79.1 (78.6–79.5)	83.2 (81.9–83.6)	86.7 (85.0–88.2)	93.6 (92.8–93.9)	96.0 (95.2–96.4)	100.0 (99.1–101.4)	108.1 (106.7–112.4)	117.0 (112.4–122.2)
14–15 yrs (n = 88)	64.1 (62.9–64.7)	67.5 (65.7–68.9)	72.6 (72.0–73.6)	76.3 (76.2–76.5)	78.3 (77.9–78.8)	80.8 (80.1–81.7)	84.6 (83.6–85.0)	89.0 (87.9–90.1)	94.4 (93.9–95.2)	98.9 (97.8–101.1)	105.6 (102.5–113.7)
16–17 yrs (n = 111)	62.0 (60.0–63.6)	65.7 (64.0–66.1)	71.9 (70.9–72.2)	75.5 (74.3–76.0)	78.0 (77.1–79.7)	82.6 (82.2–83.3)	86.6 (85.6–87.9)	92.9 (91.7–94.3)	97.9 (97.2–100.7)	106.7 (105.2–108.5)	115.1 (109.9–118.8)
<b>Superolateral</b>											
10–11 yrs (n = 35)	50.0 (45.7–53.1)	51.9 (51.1–52.7)	56.4 (53.4–62.3)	67.0 (65.2–68.8)	70.3 (69.2–71.2)	72.3 (71.9–73.8)	74.9 (73.7–75.7)	78.4 (74.9–82.0)	83.1 (82.8–83.4)	89.8 (88.0–91.1)	91.1 (90.1–91.6)
12–13 yrs (n = 91)	47.1 (46.0–49.3)	50.6 (49.1–52.0)	55.7 (54.5–55.9)	61.1 (59.1–61.7)	64.0 (63.5–64.4)	65.9 (65.6–67.1)	71.1 (69.7–72.0)	75.2 (74.3–76.2)	79.2 (78.5–79.5)	84.0 (82.6–85.3)	87.6 (85.6–89.5)
14–15 yrs (n = 88)	42.9 (41.3–45.2)	49.3 (46.4–51.8)	58.3 (57.7–58.9)	61.1 (60.8–61.5)	65.2 (64.4–65.7)	68.9 (67.8–69.2)	73.3 (71.6–73.7)	76.8 (75.7–77.9)	81.2 (80.9–83.3)	90.6 (87.3–91.5)	93.8 (91.8–97.2)
16–17 yrs (n = 111)	49.3 (45.7–50.3)	51.1 (50.8–52.0)	56.2 (55.4–57.6)	61.0 (60.2–61.3)	65.5 (64.0–66.6)	68.8 (68.6–69.1)	72.3 (71.6–73.3)	77.0 (76.2–77.5)	82.1 (80.8–84.6)	91.6 (91.0–95.1)	101.1 (96.0–105.5)
<b>Composite score</b>											
10–11 yrs (n = 35)	65.9 (62.0–72.2)	71.9 (68.1–74.0)	79.9 (75.5–82.3)	85.5 (85.1–85.9)	88.5 (88.0–89.0)	89.1 (88.8–89.9)	90.9 (90.6–91.3)	92.8 (92.6–93.0)	97.6 (95.2–101.6)	104.1 (102.1–106.9)	107.9 (104.9–109.4)
12–13 yrs (n = 91)	65.4 (64.9–68.4)	69.7 (68.5–70.5)	73.5 (72.9–74.2)	76.7 (76.2–77.1)	80.3 (79.5–80.7)	82.3 (81.8–83.1)	85.6 (85.1–85.9)	92.0 (90.4–92.3)	94.5 (94.0–95.9)	99.6 (99.1–100.8)	102.8 (101.4–105.2)
14–15 yrs (n = 88)	68.3 (66.1–69.5)	70.4 (70.0–71.2)	73.3 (72.6–74.3)	76.6 (76.2–77.0)	78.5 (78.2–78.9)	81.5 (80.5–82.9)	85.9 (85.2–86.7)	90.3 (89.5–90.5)	92.8 (91.9–93.2)	95.3 (95.1–97.0)	101.2 (98.1–104.5)
16–17 yrs (n = 111)	65.4 (62.8–67.2)	69.1 (67.7–69.8)	72.2 (71.8–73.3)	76.5 (76.1–77.0)	79.8 (79.3–80.1)	81.7 (81.4–82.6)	85.3 (84.5–85.4)	88.1 (87.4–89.4)	94.2 (92.7–94.5)	100.9 (99.1–102.8)	107.4 (103.7–108.9)



**Fig 3.** Smoothed curves for the 10<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, and 90<sup>th</sup> percentiles (% arm length) of the (A) medial, (B) inferolateral, and (C) superolateral reach directions as well as the (D) composite score during left and right arm reach in females aged 10 to 17 years. IL = inferolateral;

MD = medial; SL = superolateral.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253144.g003>

maturation processes of boys and girls proceed differently [19,20]. This may clarify the second of our hypotheses, sex-specific differences. We observed better performance, on the one hand, to the girls' advantage in 12–13-year-olds (SL direction and CS) and, on the other hand, to the boys' advantage among both 14–15-year-olds (all reach directions) and 16–17-year-olds (IL and SL direction and CS). The fact the girls performed better during an earlier age segment,



and the boys better during a later one, could reflect the onset of growth and maturation processes at differing points in time. For example, Marshall and Tanner [21,22] were able to show that the 'growth spurt' already takes place around the age of 12 in girls, and not until around the age of 14 in boys. The observed differences between younger and older individuals as well as between girls and boys indicate that age- and sex-specific normative values are necessary for an adequate classification of YBT-UQ performance in healthy youth.

### Age- and sex-specific normative values for the YBT-UQ

Since there have, so far, been no studies investigating age- and sex-specific reference values for the YBT-UQ in children and adolescents, it has only been possible to compare the results obtained with the findings of studies among older persons. Borms and Cools [10] investigated 18–25-year-olds (among others) and reported the following YBT-UQ performance values: 102–104% AL (male) and 96–102% AL (female) for the MD direction; 90–94% AL (male) and 83–86% AL (female) for the IL directions; 68–73% AL (male) and 63–96% AL (female) for the SL direction; and 87–90% AL (male) and 81–85% AL (female) for the CS. A comparison of these values with the 50<sup>th</sup> percentile values of the present study revealed a roughly equal and, in part, also lower or higher performance level. More specifically, the young participants in the present study achieved YBT-UQ performance values of: 93.1–104.5% AL (male) and 93.5–99.5% (female) for the MD direction; 84.4–98.8% AL (male) and 80.8–101.5% AL (female) for the IL direction; 59.2–78.6% AL (male) and 65.9–76.0% AL (female) for the SL direction; and 79.5–93.3% AL (male) and 81.5–92.2% AL (female) for the CS.

From a practical perspective, the age- and sex-specific normative values for the YBT-UQ obtained here can be used by teachers, coaches, and therapists to classify the performance level achieved by a child/adolescent. In a subsequent stage, specifically customised interventions could then be recommended on the basis of these, depending on the percentile range. For example, one might recommend a programme for talent development (e.g., overhead sports) to a child achieving good results, and a programme that boosts motor ability to a child achieving poor ones. Moreover, the percentile data can be used by clinicians to assist in rehabilitation programs in order to identify the transition from poor (10<sup>th</sup> percentile) over moderate (50<sup>th</sup> percentile) to good (90<sup>th</sup> percentile) performance values. In addition, the data can help to decide whether a return to sport can take place after injury treatment or whether there is still an increased injury risk [8,9]. Lastly, the data can assist coaches in overhead sports to derive associations with athletic performance and to differentiate between athletes with different performance levels [6,7].

### Conclusions

We investigated the YBT-UQ performance of 10–17-year-old boys and girls and provides age- and sex-specific reference values. Contrary to our hypothesis, neither the boys nor the girls showed a clear improvement in YBT-UQ performance with increasing age. For example, the 14–15-year-old boys achieved better values than the 16–17-year-olds for the MD direction, and the 10–11-year-old girls achieved better results for the IL direction and the CS than all the other older age groups. With respect to sex differences, too, an uneven picture emerged, with better performance in the 12–13-year-old girls on the one hand (SL direction and CS), and better performance in the 14–15-year-old boys (all reach directions) and 16–17-year-old boys (IL and SL direction of and CS) on the other hand. In addition, curvilinear developments were observed for the 10<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, and 90<sup>th</sup> percentiles, and were more strongly pronounced among the boys compared to the girls. Thus, the generated normative values can be used by practitioners (e.g., P.E. teachers, trainers, therapists) to classify the individual level of YBT-UQ performance achieved depending on age and gender.

## Supporting information

**S1 Data.**

(SAV)

## Author Contributions

**Conceptualization:** Gerrit Schwiertz, Thomas Muehlbauer.

**Data curation:** Thomas Muehlbauer.

**Formal analysis:** Gerrit Schwiertz.

**Investigation:** Gerrit Schwiertz, Julian Bauer.

**Methodology:** Julian Bauer.

**Supervision:** Thomas Muehlbauer.

**Writing – original draft:** Gerrit Schwiertz, Thomas Muehlbauer.

**Writing – review & editing:** Gerrit Schwiertz, Julian Bauer, Thomas Muehlbauer.

## References

1. Schwiertz G, Beurskens R, Muehlbauer T. Discriminative validity of the Lower and Upper Quarter Y Balance Test performance: a comparison between healthy trained and untrained youth. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2020; 12:73. <https://doi.org/10.1186/s13102-020-00220-w> PMID: 33292443
2. Schwiertz G, Brueckner D, Schedler S, Kiss R, Muehlbauer T. Reliability and minimal detectable change of the Upper Quarter Y Balance Test in healthy adolescents aged 12 to 17 years. *Int J Sports Phys Ther.* 2019; 14(6):927–34. PMID: 31803525.
3. Plisky PJ. Y Balance Test home study course 2010 [updated Retrieved from [www.YBalanceTest.com](http://www.YBalanceTest.com)].
4. Teyhen DS, Riebel MA, McArthur DR, Savini M, Jones MJ, Goffar SL, et al. Normative data and the influence of age and gender on power, balance, flexibility, and functional movement in healthy service members. *Mil Med.* 2014; 179(4):413–20. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-13-00362> PMID: 24690966.
5. Butler R, Arms J, Reiman M, Plisky P, Kiesel K, Taylor D, et al. Sex differences in dynamic closed kinetic chain upper quarter function in collegiate swimmers. *J Athl Train.* 2014; 49(4):442–6. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.17> PMID: 25014714.
6. Bullock GS, Brookreson N, Knab AM, Butler RJ. Examining fundamental movement competency and closed-chain upper-extremity dynamic balance in swimmers. *J Strength Cond Res.* 2017; 31(6):1544–51. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001627> PMID: 28538303.
7. Krysak S, Harnish CR, Plisky PJ, Knab AM, Bullock GS. Fundamental movement and dynamic balance disparities among varying skill levels in golfers. *Int J Sports Phys Ther.* 2019; 14(4):537–45. PMID: 31440406.
8. Kim Y, Lee JM, Wellsandt E, Rosen AB. Comparison of shoulder range of motion, strength, and upper quarter dynamic balance between NCAA division I overhead athletes with and without a history of shoulder injury. *Phys Ther Sport.* 2020; 42:53–60. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.12.007> PMID: 31887553.
9. Teyhen DS, Shaffer SW, Goffar SL, Kiesel K, Butler RJ, Rhon DI, et al. Identification of risk factors prospectively associated with musculoskeletal injury in a warrior athlete population. *Sports Health.* 2020; 12(6):564–72. <https://doi.org/10.1177/1941738120902991> PMID: 32134698.
10. Borms D, Cools A. Upper-extremity functional performance tests: reference values for overhead athletes. *Int J Sports Med.* 2018; 39(6):433–41. <https://doi.org/10.1055/a-0573-1388> PMID: 29564843.
11. Taylor JB, Wright AA, Smoliga JM, DePew JT, Hegedus EJ. Upper-extremity physical-performance tests in college athletes. *J Sport Rehabil.* 2016; 25(2):146–54. <https://doi.org/10.1123/jsr.2014-0296> PMID: 25611827.
12. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation, and physical activity. Champaign, IL: Human Kinetics; 2004.

13. Cramer J, Quintero M, Rhinehart A, Rutherford C, Nasypany A, May J, et al. Exploration of score agreement on a modified Upper Quarter Y-Balance test kit as compared to the Upper Quarter Y-Balance test. *Int J Sports Phys Ther.* 2017; 12(1):117–24. PMID: [28217422](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28217422/).
14. Gorman PP, Butler RJ, Plisky PJ, Kiesel KB. Upper Quarter Y Balance Test: reliability and performance comparison between gender in active adults. *J Strength Cond Res.* 2012; 26(11):3043–8. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182472fdb> PMID: [22228174](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22228174/).
15. Westrick RB, Miller JM, Carow SD, Gerber JP. Exploration of the y-balance test for assessment of upper quarter closed kinetic chain performance. *Int J Sports Phys Ther.* 2012; 7(2):139–47. PMID: [22530188](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22530188/).
16. Cohen J. *Statistical power for the behavioral sciences.* Hillsdale, NJ: Erlbaum; 1988.
17. Malina RM, Bouchard C, Beunen G. Human growth: selected aspects of current research on well-nourished children. *Annu Rev Anthropol.* 1988; 17:187–219. <https://doi.org/10.1146/annurev.an.17.100188.001155> WOS:A1988Q535100009.
18. Tanner JM, Whitehouse RH. *Atlas of children's growth. Normal variation and growth disorders.* New York: Academia Press; 1982.
19. Tanner JM, Davies PS. Clinical longitudinal standards for height and height velocity for North American children. *J Pediatr.* 1985; 107(3):317–29. [https://doi.org/10.1016/s0022-3476\(85\)80501-1](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(85)80501-1) PMID: [3875704](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3875704/).
20. Cameron N, Tanner JM, Whitehouse RH. A longitudinal analysis of the growth of limb segments in adolescence. *Ann Hum Biol.* 1982; 9(3):211–20. <https://doi.org/10.1080/03014468200005701> PMID: [7103402](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7103402/).
21. Marshall WA, Tanner JM. Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Arch Dis Child.* 1969; 44 (235):291–303. <https://doi.org/10.1136/adc.44.235.291> PMID: [5785179](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5785179/).
22. Marshall WA, Tanner JM. Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Arch Dis Child.* 1970; 45 (239):13–23. <https://doi.org/10.1136/adc.45.239.13> PMID: [5440182](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5440182/).

## Erklärungen

1

Hiermit erkläre ich, dass die eingereichte Dissertation aus keinem Projekt entstanden ist, an dem mehrere Personen mitgewirkt haben.

2

Hiermit erkläre ich, dass ich die eingereichte Dissertation zum Thema „Y-Balance Testleistungen für die unteren und oberen Extremitäten im Kindes- und Jugendalter: Untersuchungen zur Validität, zur Reliabilität und zu Normwerten“ selbständig verfasst habe.

3

Hiermit erkläre ich, dass diesem Promotionsverfahren keine endgültig gescheiterten Promotionsversuche in diesem Fach oder in einem anderen Fach vorausgegangen sind.

4

Hiermit erkläre ich, dass ich die eingereichte Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

5

Hiermit erkläre ich, dass ich die eingereichte Dissertation nur in diesem Promotionsverfahren eingereicht habe.

Essen, 14. Juni 2023, Unterschrift

