

Height-to-Mass-Ratio and Body Mass Index as Predictor of Children's Physical Fitness

Reinhold Kliegl, Paula Teich, Kathleen Golle (University of Potsdam)

Toni Wöhr, Florian Bähr (University of Erfurt)

56. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie (asp 2024)
Berlin, 2024-05-11



EMOTIKON: Kontinuierliche Evaluation motorischer Fähigkeiten



Cardiorespiratory endurance (6-minute run; until 2009: 9-minute run)



Coordination under time pressure (Star run; speed score)



Speed (20-m sprint; until 2009: 50-m sprint; speed score)



PowerLOW (Standing long jump; until 2009: triple-hop jump)



PowerUP (Ball push test)

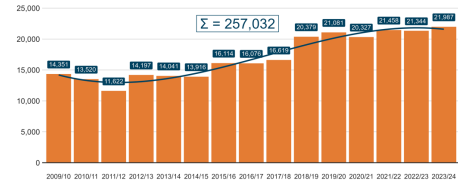


Balance (One leg balance with closed eyes; since 2016)

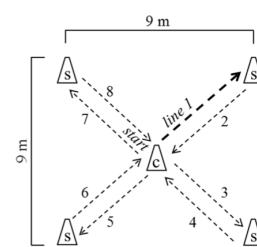


Flexibility (Stand and reach; until 2015)

Participating children in EMOTIKON



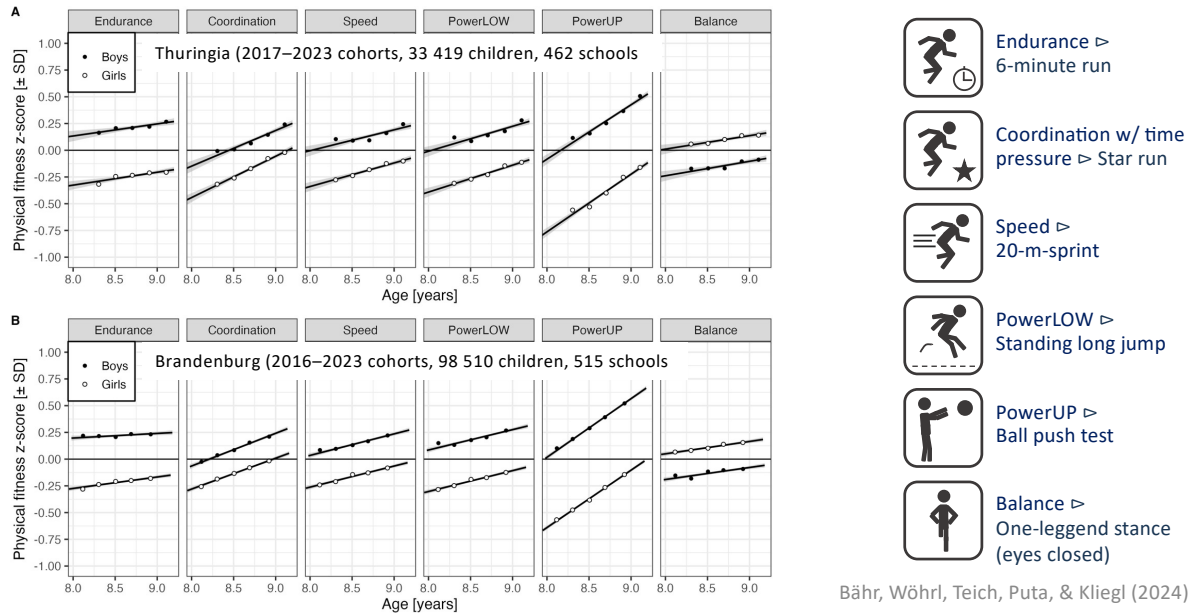
△ = center pylon △ = spike pylon



- 1 = forward run
- 2 = backward run
- 3 = sidestep right
- 4 = sidestep left
- 5 = backward run
- 6 = forward run
- 7 = sidestep left
- 8 = sidestep right

In Brandenburg und Thüringen werden Grundschul Kinder der 3. Klasse seit vielen Jahren jährlich auf ihre körperliche Fitness getestet. Das sind die Aufgaben. Ich werde hauptsächlich über die ersten vier Aufgaben sprechen, d.h. Dauerauf, Sternlauf, d.h. die Kinder mussten so schnell wie möglich vorwärts, rückwärts und seitwärts laufen, den Sprint über eine kurze Strecke und eine Sprungaufgabe. Die Messgröße für die Laufaufgaben ist Geschwindigkeit, nicht Zeit, d. h. große Werte bedeuten hohe Geschwindigkeit, also bessere Leistung. Alle Werte sind z-Scores.

Age x Sex Effects on Physical Fitness Components

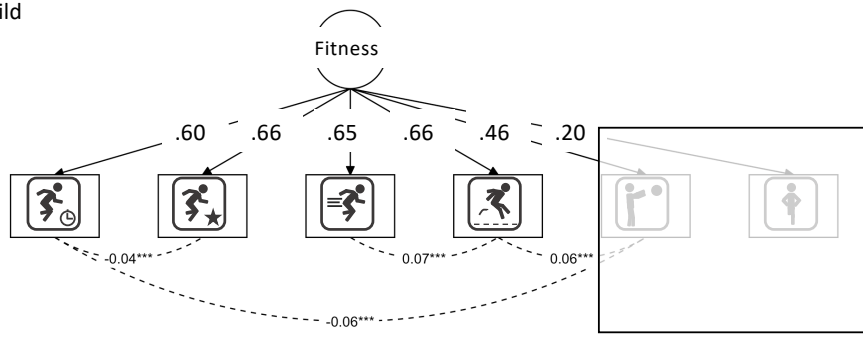








Dies ist unser wichtigstes Ergebnis. Die Linien sind Regressionen über die Rohdaten; 95%-Konfidenzintervalle sind kaum sichtbar; die Punkte sind Mittelwerte der Altersklassen. Die Linien für Jungen und Mädchen in jedem Panel sind statistisch gesehen parallel, die Leistung nimmt mit dem Alter zu, Jungen sind den Mädchen überlegen, außer beim Gleichgewicht, und die Effekte von Alter und Geschlecht sind für jede Aufgabe anders.

Die Thüringer Ergebnisse sind eine Replikation der Brandenburger Ergebnisse mit noch größerer statistischer Power. Auch hier gibt es keine signifikanten Interaktionen, obwohl wir sie erwartet hatten. Lassen Sie sich nicht einreden, dass bei einem ausreichend großen N alles signifikant wird!

Confirmatory Factor Analyses and Contrasts

Child



-  Endurance ▷
6-minute run
-  Coordination w/ time
pressure ▷ Star run
-  Speed ▷
20-m-sprint
-  PowerLOW ▷
Standing long jump
-  PowerUP ▷
Ball push test
-  Balance ▷
One-legged stance
(eyes closed)

Factor loadings

Endurance < Coord ~ Speed ~ PowerLOW << PowerUP << Balance

Contrasts

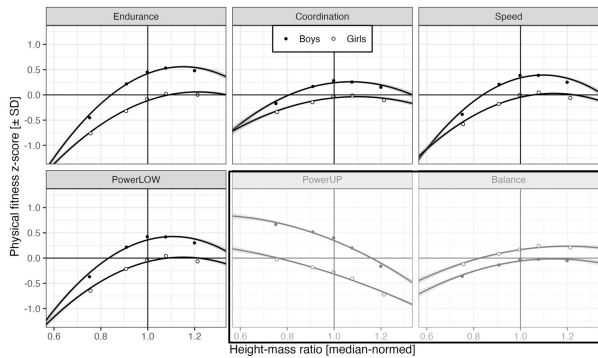
1. Acceleration - Endurance = (Coord + PowLOW + Speed) / 3 - Endu
2. Coordination - LegPower = Coord - (PowLOW + Speed) / 2
3. PowerLOW - Speed

Die ersten vier Aufgaben erfüllen auch alle Kriterien für ein latentes Konstrukt der körperlichen Fitness mit Faktorladungen von .60 und höher. Innerhalb der vier Aufgaben unterscheidet sich die Ausdauer von den anderen drei, da sie die kardio-respiratorische Fitness anzeigt. Dies ist die für die Gesundheit und auch für Korrelation mit Kognition relevanteste Aufgabe. Die anderen drei Aufgaben erfordern Beschleunigung der Beine.

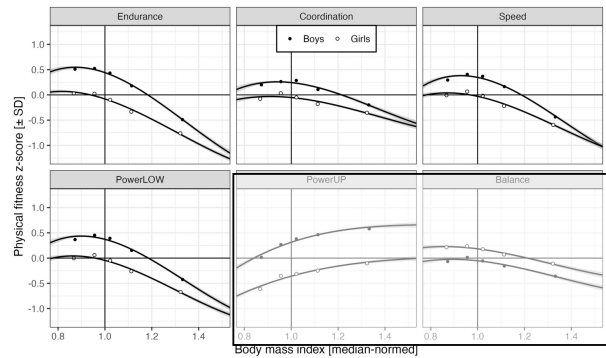
Innerhalb der vier Aufgaben geht es im Folgenden vor allem um den Unterschied zwischen Ausdauer und Beschleunigung, also dem Mittelwert der anderen drei Aufgaben. Wir haben auch zwei Kontraste zwischen den Beschleunigungsaufgaben im Modell, auf die ich jetzt nicht weiter eingehen werde.

Body Constitution x Sex Effects on Physical Fitness Components

Physical Fitness ~ HMR^2 x Sex x Component



Physical Fitness ~ BMI^3 x Sex x Component



Median-normed body constitution

$height = height [cm] / 150 [cm]$

$mass = mass [kg] / 40 [kg]$

$lightness = 40 [kg] / mass [kg]$

Note: Self-reported body constitution

Bähr, Wöhr, Teich, Puta, & Kliegl (2024) 5

Unser bevorzugter Prädiktor für die Auswirkungen der Körperkonstitution auf die körperliche Fitness ist der HMR. Da wir mit dem BMI vertrauter sind, zeige ich die Daten zuerst. Die vertikalen Linien repräsentieren den median-normierten BMI für die Stichprobe. Es handelt sich um einheitslose Werte, die sich aus der Division der Masse durch 40 kg ergeben. In ähnlicher Weise haben wir die Körpergröße normiert, indem wir sie durch den Median von 150 cm geteilt haben.

Im Allgemeinen ist die Leistung erwartungsgemäß bei BMI-Werten um den Median herum am besten und nimmt mit steigendem BMI stark ab; eine Ausnahme ist der Medizinballtest. Jungen haben höhere Spitzenwerte als Mädchen. Die Fitness der Jungen nimmt mit steigendem BMI schneller ab. Den besten Fit liefern Polynome dritter Ordnung, kubische Trends.

Das sind die HMR-Kurven. Qualitativ gesehen erhalten wir die gleichen Ergebnisse – im Vergleich mit Mädchen haben Jungen höhere Spitzenwerte und ihre Fitness nimmt bei einer Abnahme des HMR schneller ab. Warum ziehen wir den HMR dem BMI vor? Wir brauchen nur einen quadratischen, keinen kubischen Trend und die Anpassungsgüte ist besser, obwohl das Modell weniger komplex ist. Der HMR ist auch viel weniger schief verteilt als der BMI; die vertikalen Linien sind eher in der Mitte der Panels.

Ein Nachteil dieser Studie war, dass Körpergröße und -masse von den Eltern angegeben wurden. Daher gibt es eine Verzerrung; wir müssen die Ergebnisse mit gemessenen Werten überprüfen.

First EMOTIKON Study: Longitudinal 2006–2009 (Grades 3–6)

PLOS ONE 240 children (152 boys; 88 girls), 27 schools

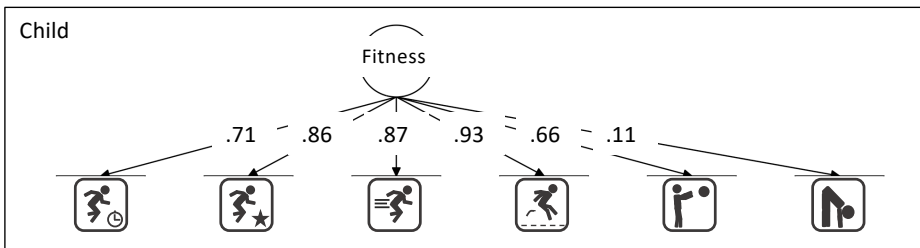
RESEARCH ARTICLE

Physical Fitness Percentiles of German Children Aged 9–12 Years: Findings from a Longitudinal Study

Kathleen Golle^{1*}, Thomas Muehlbauer¹, Dittmar Wick², Urs Granacher¹

- A. Contrast 1: Acceleration - Endurance
- B. Contrast 2: Coordination - LegPower
- C. Contrast 3: PowerLOW - Speed

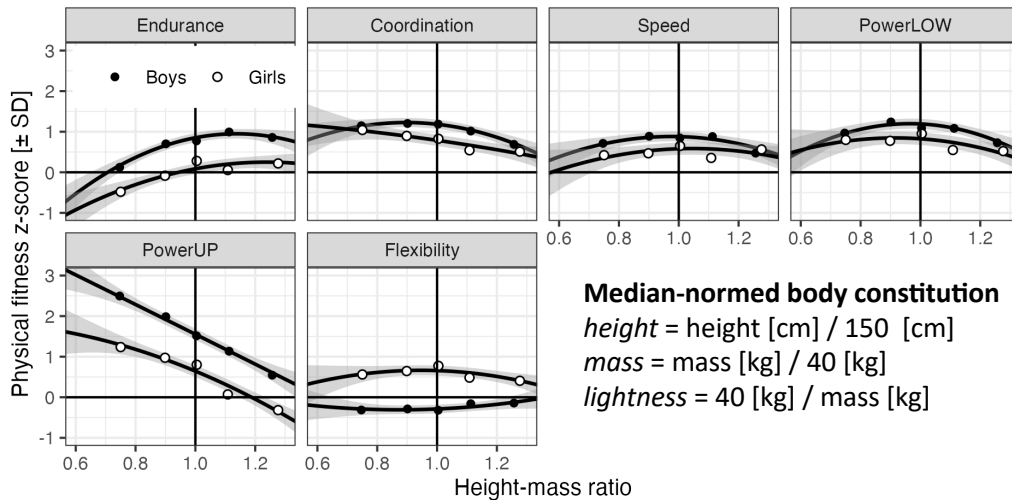
- Endurance ▷ 9-minute run
- Coordination w/ time pressure ▷ Star run
- Speed ▷ 50-m-sprint
- PowerLOW ▷ Triple hop jump
- PowerUP ▷ Ball push test
- Flexibility ▷ Stand and reach



Golle et al. (2015) 6

Solche Messungen liegen aus der ersten Brandenburger EMOTIKON-Studie vor, die von 2006 bis 2009 durchgeführt wurde. In dieser Studie wurden 240 Kinder von der 3. bis zur 6. Klasse begleitet. Die Aufgaben sind etwas anders, aber die Fitnesskomponenten sind die gleichen. Wir können uns auch hier den Kontraste von Ausdauer und Beschleunigung ansehen. Wichtig: Körpergröße und -masse wurden in jedem Jahr gemessen.

HMR x Sex Effects on Physical Fitness Components



$$\text{HMR}^2 = (\text{height} / \text{mass})^2 = (\text{height} \times \text{lightness})^2 = \text{height}^2 \times \text{lightness}^2$$

Measured body constitution 7

Die erste Reihe der Panels zeigt, dass wir qualitativ die vorherigen Ergebnisse replizieren. Die Kurven haben eine umgekehrte U-Form und sind bei Jungen stärker ausgeprägt als bei Mädchen. Die Wechselwirkungen zwischen Geschlecht und HMR waren jedoch nicht signifikant, ich vermute, dass wir hier nicht genug statistische Power hatten, obwohl Alter jetzt ein Within-Subject-Faktor ist.

Initial and Final HMR-/BMI-based LMM Equations

N: 3840, Child: 240, School: 27

Initial HMR-/BMI-based LMM: 236 parameters (incl. 192 fixed effects)

```
rs0 = let
form = @formula(
zScore ~ 1+Test*(a1+a2)*Sex*(r1+r2+r3+h1+h2+l1+l2) +
        (1+Test+a1+r1+r2 | Child) + (1+Test+a1 | School))
fit(MixedModel, form, dat4; contrasts)
end;
```

Parsimonious HMR-/BMI-based LMM: 56/58 (incl. 19/21 fixed effects)

```
m_hmr_r2 = let
form = @formula(
zScore ~ 1 + e_a*(a1+Sex+h1+r1+r2) + c_l*(a1+h1+r1) + s_p*a1 + a2 +
        (1+Test+a1+r1 | Child) + (1+Test+a1 | School))
fit(MixedModel, form, dat4; contrasts)
```

Measured body constitution 8

Wir haben die Daten mit einem linearen gemischten Modell gefittet, beginnend mit 236 Modellparametern, einschließlich 192 fester Effekte. Nach Abzug einer Varianzkomponente und der Interaktionen zwischen den festen Effekten blieben 56 Parameter für das HMR-basierte LMM und 58 Parameter für das BMI-basierte LMM übrig, einschließlich jetzt nur noch 19 bzw. 21 fester Effekte. Diese Reduzierung der Modellkomplexität führte zu keinem Verlust der Anpassungsgüte.

Goodness of fit HMR-based and BMI-based LMMs

LMM	dof	deviance	AIC
hmr_2	56	7876	7988
hmr_3	58	7872	7988
bmi_2	56	7887	7999
bmi_3	58	7878	7994

$$\text{HMR}^2 = (\text{height} / \text{mass})^2 = (\text{height} \times \text{lightness})^2 = \text{height}^2 \times \text{lightness}^2$$

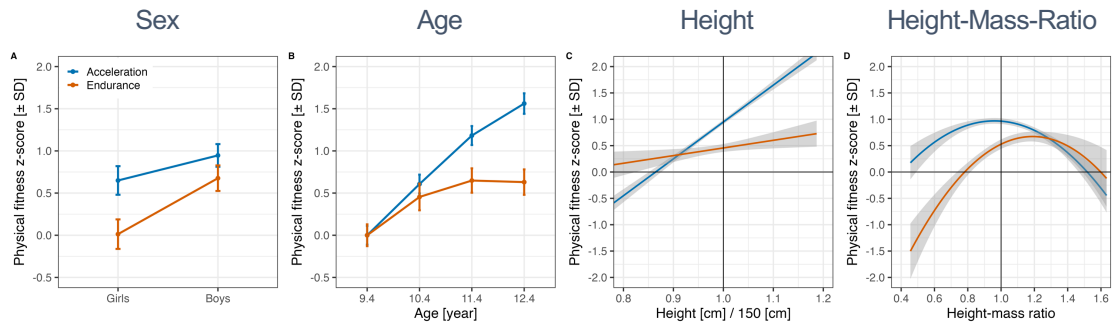
$$\text{BMI}^3 = (\text{mass} / \text{height}^2)^3 = \text{mass}^3 / \text{height}^6$$

Der HMR passt auch für diese Daten besser als der BMI, obwohl wir wiederum nur einen quadratischen Trend für die HMR benötigten, der den kleinsten AIC hat, und einen kubischen Trend für den BMI – 5 AIC-Einheiten Unterschied zum quadratischen BMI-Modell.

HMR und BMI sind abgeleitete Maße. Daher ist der kubische BMI eigentlich viel komplexer als der quadratische HMR. Für den HMR werden Körpergröße und Leichtigkeit quadriert, für den BMI wird die Masse in die dritte und die Größe auf eine Potenz von sechs (!) erhöht. Ich möchte auch darauf hinweisen, dass HMR identisch ist mit der multiplikativen Interaktion von Größe und Leichtigkeit, dass er also perfekt mit dem allgemeinen linearen Modell vereinbar ist.

Four Interactions with Contrast 1 (Acceleration - Endurance)

Contrast 1: Acceleration - Endurance = (star run + 50-m sprint + triple hop) / 3 - 9-min run



10

Die wichtigsten Ergebnisse sind vier signifikante Interaktionen mit dem Kontrast zwischen Beschleunigung und Ausdauer. Die Panels zeigen die direkten Beziehungen (*zero-order relations*).

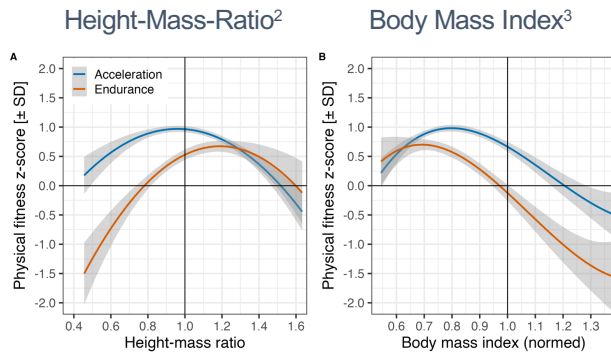
Die erste Interaktion besagt, dass der Unterschied zwischen Jungen und Mädchen bei der Beschleunigungskomponente geringer ist als bei der Ausdauer.

Die zweite Wechselwirkung besagt, dass die Entwicklung zwischen 9,4 und 12,4 Jahren bei der Beschleunigung fast linear verläuft und bei der Ausdauer sehr früh ein Plateau erreicht.

Die dritte Wechselwirkung besagt, dass die lineare Größe die Leistung in der Beschleunigungskomponente besser vorhersagt als die Leistung in der Ausdauer. Die vierte Interaktion mit HMR zeigt die erwarteten umgekehrten U-Formen sowohl für Beschleunigung als auch Ausdauer. Es gibt jedoch zwei wichtige Unterschiede. zwischen den Kurven. Erstens liegt das Maximum für Beschleunigung nahe beim Median und für Ausdauer deutlich rechts vom Median. Zweitens ist der Fitnessverlust, der mit einer Abnahme des HMR einhergeht, d. h. im Grunde mit einer Zunahme des Gewichts im Verhältnis zur Körpergröße, bei der Ausdauer viel gravierender als bei der Beschleunigung.

HMR² and BMI³ Interactions with Contrast 1 (Acceleration - Endurance)

Contrast 1: Acceleration - Endurance = (star run + 50-m sprint + triple hop) / 3 - 9-min run



$$\text{HMR}^2 = (\text{height} / \text{mass})^2 = (\text{height} \times \text{lightness})^2 = \text{height}^2 \times \text{lightness}^2$$

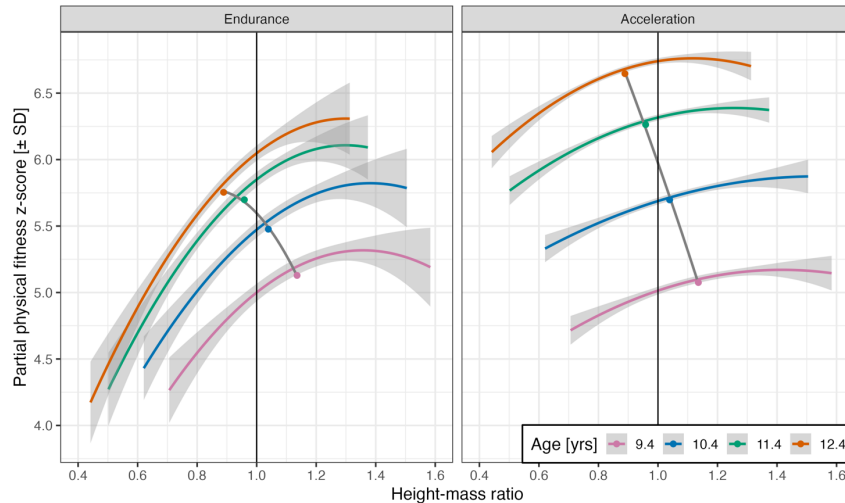
$$\text{BMI}^3 = (\text{mass} / \text{height}^2)^3 = \text{mass}^3 / \text{height}^6$$

Diese letzte Wechselwirkung war die Ursache für den kubischen Terms im BMI-Modell. Inhaltlich sagt es nicht wirklich etwas anderes aus. Daher bleibe ich an dieser Stelle bei der einfacheren HMR-basierten Darstellung.

Abgesehen von einigen Details, die das relative Verhältnis der beiden Fitnesskomponenten betreffen, sind die vier Interaktionen wahrscheinlich nicht überraschend; ich kenne aber keine Studie, die sie gleichzeitig gezeigt hat. Was machen wir also mit diesen Ergebnissen? Zwei Vorschläge – einen auf der nächsten Folie für die Praxis und einen theoretischen Vorschlag dann in der Zusammenfassung.

HMR x Age x Contrast 1 (LMM partial fixed effects)

Contrast 1: Acceleration - Endurance = (star run + 50-m sprint + triple hop) / 3 - 9-min run

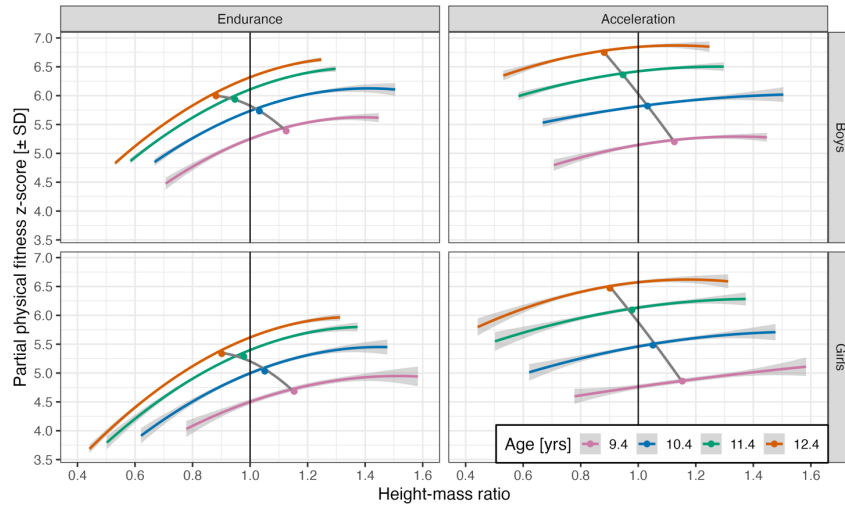


12

In der Praxis können wir die üblichen Altersnormen durch separate HMR-Normen für Ausdauer und Beschleunigung ergänzen. In dieser Grafik zeigen die Linien, die von rechts unten nach links oben verlaufen, den linearen Alterstrend für die Beschleunigung und den plateauartigen Alterstrend für die Ausdauer, die ich Ihnen zuvor gezeigt habe. Beide Linien kreuzen von einem HMR > 1 zu einem HMR < 1. Verbinden wir jedoch die Maxima, die Gipfel der Kurven, miteinander, dann wird die Medianlinie nicht gekreuzt. Das bedeutet vermutlich, dass in dieser Altersspanne die tatsächliche Entwicklung der motorischen Fitness nicht optimal verläuft. Die HMR-basierten Normen würden hier nicht nur große interindividuelle Unterschiede vor allem bzgl. der Körperkonstitution (HMR) berücksichtigen, sondern könnten auch wichtige Hinweise für Interventionsbedarfe liefern.

HMR x Age x Sex x Contrast 1 (LMM partial fixed effects)

Contrast 1: Acceleration - Endurance = (star run + 50-m sprint + triple hop) / 3 - 9-min run



13

Es ist üblich, solche Werte für Jungen und Mädchen getrennt zu zeigen. Das können wir auch für HMR. Es gibt diese Abbildung auch für das bmi-basierte Modell, aber ich hebe sie als Anregung für die Diskussion auf.

Summary

1. Arguments for HMR as predictor of physical fitness
 - Better goodness of fit for HMR-based than BMI-based LMMs
 - ... with less complex LMM formula
 - $(\text{HMR})^2 = (\text{Height} \times \text{Lightness})^2$
 - $(\text{BMI})^3 = (\text{Mass} / \text{Height}^2)^3 = \text{Mass}^3 / \text{Height}^6$
 - Normally distributed residuals w/ mass to lightness transformation
2. Clearly defined latent construct of physical fitness, but also differences between acceleration and endurance components (i.e., four interactions)
3. Proposal
 - ... for praxis: Augment age x sex norms of fitness with HMR-curves
 - ... for theory: Develop a biomechanical model to reproduce profiles, that is: $\text{PF} \sim f(\text{acceleration vs endurance, hmr}^2, \text{age, sex})$

14

1. Argumente für HMR als Prädiktor für motorische Fitness
 - Bessere Güte der Anpassung für HMR- als BMI-LMMs
 - ... mit weniger komplexen LMM-Formel
 - $(\text{HMR})^2 = (\text{Height} \times \text{Lightness})^2$
 - $(\text{BMI})^3 = (\text{Mass} / \text{Height}^2)^3 = \text{Mass}^3 / \text{Height}^6$
 - Normalverteilte Residuen nach reziproker Transformation von Gewicht zu Leichtigkeit
2. Es gibt ein sehr gut definiertes latentes Konstrukt "Motorische Fitness", aber auch Unterschiede zwischen Beschleunigungs- und Ausdauerkomponente – vier Interaktionen
3. Vorschlag
 - ... für Praxis: Erweiterung von Normen für Alter x Geschlecht für motorische Fitness mit HMR-Kurven
 - ... für Theorie: Entwicklung eines biomechanischen Modells, das die Ergebnisprofile erklärt: $\text{PF} \sim f(\text{acceleration vs endurance, hmr}^2, \text{age, sex})$



Thank you!

<https://www.uni-potsdam.de/de/emotikon/>

- Startseite
- Podcast and Newsletter
- About the project
- Materialien - Aktuelles Schuljahr
- Motorische Leistungsbewertung
- Bewegungsförderung
- Publications and Presentations
- Kontakt
- Galerie
- SMaRTER-Studie

Publications & presentations

International publications

You can find our research on [ResearchGate](#).

Bähr, F., Wöhrl, T., Teich, P., Puta, C., & Kliegl, R. (2024). Impact of Height-to-Mass Ratio on Physical Fitness of German Third-Grade Children. Submitted for publication. doi.org/10.21203/rs.3.rs-3885133/v1

Teich, P., Golle, K., & Kliegl, R. (2023). Association between time of assessment within a school year and physical fitness of primary school children. Submitted for publication. doi.org/10.21203/rs.3.rs-3793043/v1

Arnitz, F. (2023). Intervention and moderation of physical fitness in children with physical fitness deficits - Results of the SMaRTER study. <https://faaa6.github.io/SMaRTER/>

Teich, P., Fühner, T., Bähr, F., Puta, C., Granacher, U., & Kliegl, R. (2023). Covid Pandemic Effects on the Physical Fitness of Primary School Children: Results of the German EMOTIKON Project. *Sports Medicine - Open*, 9(1). doi.org/10.1186/s40798-023-00624-1

Teich, P., Fühner, T., Granacher, U., & Kliegl, R. (2023). Physical fitness of primary school children differs depending on their timing of school enrollment. *Scientific Reports*, 13(1), 8788. doi.org/10.1038/s41598-023-35727-y



EMOTIKON-Podcast

<https://www.uni-potsdam.de/de/emotikon/podcast>







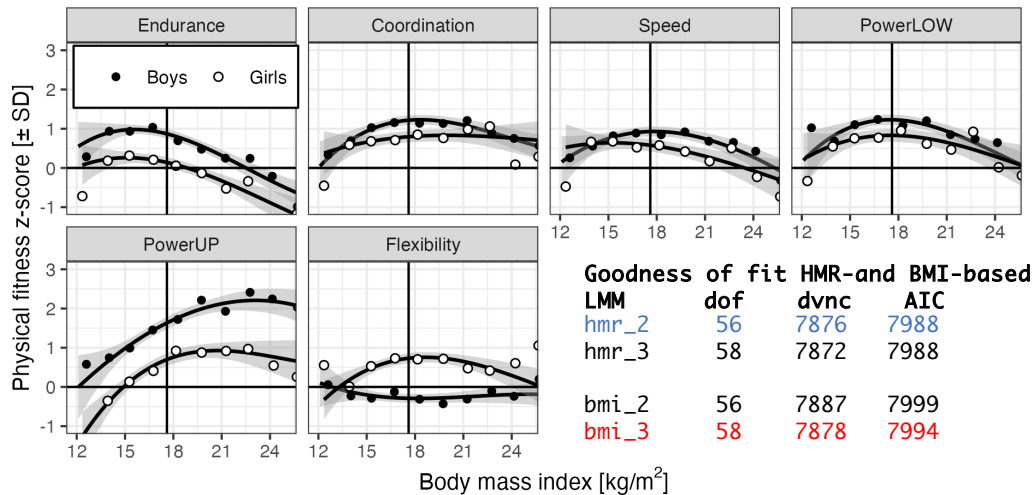
15

Besuchen Sie uns auf unserer Website! Alle unsere Veröffentlichungen (mit Links zu OSF-Repos von Daten und Skripten), unsere PDFs von Präsentationen (oft mit Text). Es gibt sogar Podcasts und einen Newsletter. Herzlichen Dank!



Backup slides

BMI x Sex Effects on Physical Fitness Components



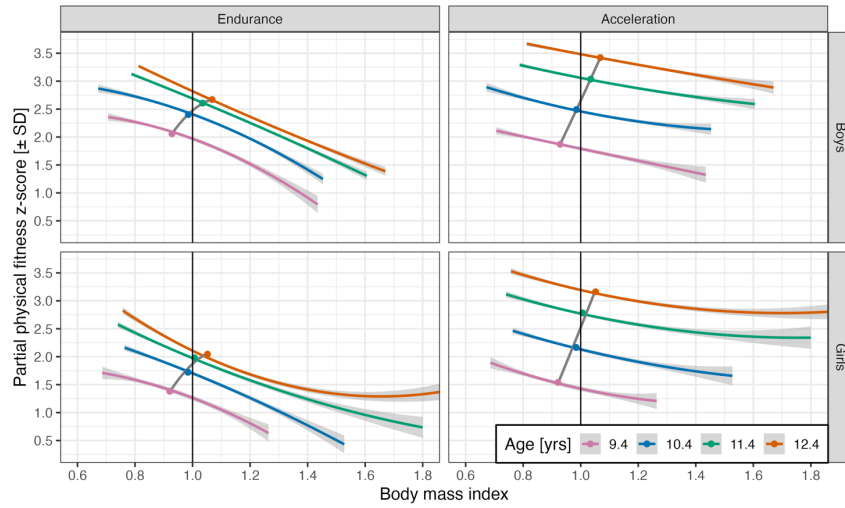
$$\text{HMR}^2 = (\text{height} / \text{mass})^2 = (\text{height} \times \text{lightness})^2 = \text{height}^2 \times \text{lightness}^2$$

$$\text{BMI}^3 = (\text{mass} / \text{height}^2)^3 = \text{mass}^3 / \text{height}^6$$

Measured body constitution 17

Der HMR passte auch besser als der BMI für diese Daten. Es gab keinen großen Unterschied zwischen quadratischen und kubischen Trends, aber der kubische Trend war deutlich besser als eine einfache lineare Funktion. Obwohl die Anpassung für HMR etwas besser war als für BMI, gab es keinen Unterschied zwischen den Kontrasteffekten oder Interaktionen. Definitionsgemäß ist der BMI komplexer als der HMR. Ich werde mich auf die HMR-Diagramme beschränken.

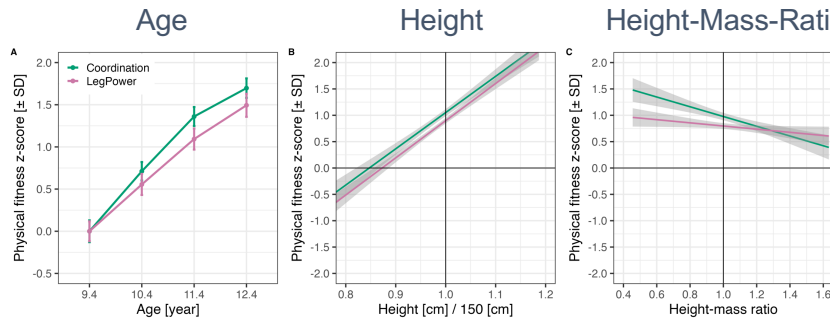
Contrast 1: Acceleration - Endurance = (star run + 50-m sprint + triple hop) / 3 - 9-min run



Größe ist integriert.

Three Interactions with Contrast 2 (Coordination - LegPower)

Contrast 2: Coordination - LegPower = star run - (50-m sprint + triple hop) / 2



19

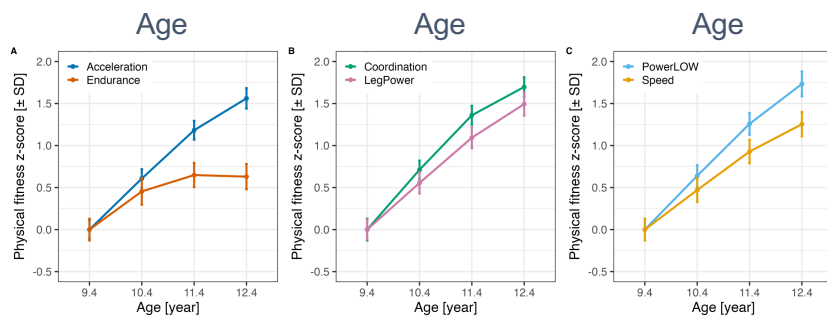
Für den zweiten Kontrast zwischen Koordination und Kraft der Beine gab es drei signifikante Interaktionen.

Age x Contrast Interactions for Physical Fitness

A. Contrast 1: Acceleration - Endurance = (Coordination + PowerLow + Speed) / 3 - Endurance

B. Contrast 2: Coordination - LegPower = Coordination - (PowerLow + Speed) / 2

C. Contrast 3: PowerLOW – Speed (i.e., triple hop jump - 50-m sprint)

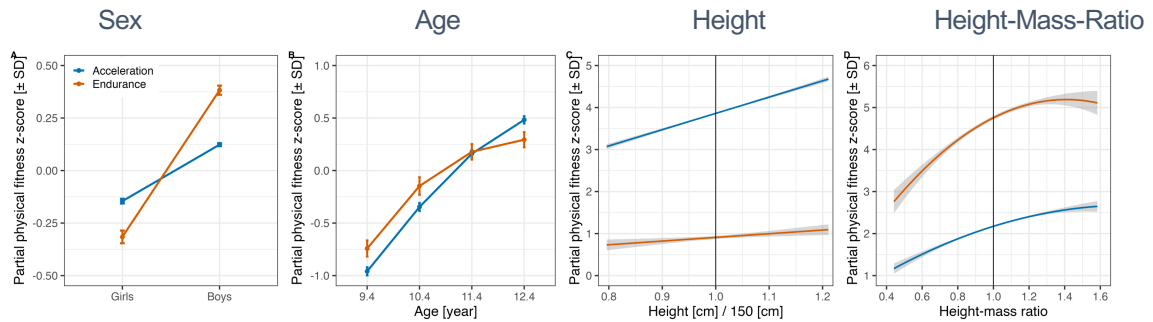


20

Für den dritten Kontrast zwischen der Sprung- und Sprintaufgabe gab es nur eine Interaktion mit Alter (Panel C auf der Folie). Zum Vergleich auch nochmal die Alterseffekte der ersten beiden Kontraste.

Partial Effects for Interactions with (Acceleration - Endurance)

Contrast 1: Acceleration - Endurance = (star run + 50-m sprint + triple hop) / 3 - 9-min run



21

Baustelle – noch nicht optimal: Die direkten Beziehungen lassen die Korrelationen zwischen den Prädiktoren außer Acht. Hier die Partialeffekte. In jedem Panel sind die jeweiligen allgemeinen Haupteffekte und die spezifische Interaktion enthalten. Ein angemessenes post-hoc LMM fehlt noch: Beispielsweise die Prüfung der vier Haupteffekte als "nested in the levels of the two physical fitness components", auch für $h_1 + r_2$ zusammen, anstelle der allgemeinen Haupteffekte.