

The relationship between biological maturation stages and physical fitness variables in adolescent male handball players

Saleh Shbib^{1,2}, Nahid Bijeh³, Javad Zaree⁴

1. PhD Student in Exercise Physiology, Faculty of Sport Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Saleh.shbib@gmail.com
2. Lecturer at Department of Child Education, Faculty of Education, Damascus University, Damascus, Syria.
3. Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. bijeh@um.ac.ir
4. Lecturer at Department of Physical Education, Faculty of Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. j.zaree@ferdowsi.um.ac.ir

Corresponding Author Address, Faculty of Sport Science, Department of Exercise Physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: bijeh@um.ac.ir

Extended Abstract

Background and Aim: Handball is a high-intensity intermittent sport characterized by repeated accelerations, rapid changes of direction, vertical jumping, forceful throwing, and frequent body contact. Successful performance during adolescence requires well-developed neuromuscular qualities, including explosive power, maximal strength, sprint ability, and anaerobic capacity. However, adolescence is marked by substantial inter-individual variability in biological maturation, leading to pronounced differences in anthropometric characteristics, muscle mass accretion, neural activation patterns, and endocrine responses among athletes of the same chronological age. These maturation-related disparities may substantially influence physical performance outcomes and potentially bias talent identification processes, competitive selection, and training responses. In particular, athletes who mature earlier often demonstrate temporary performance advantages due to accelerated gains in muscle mass and strength, whereas late maturers may be undervalued despite long-term developmental potential. Therefore, distinguishing the independent contribution of biological maturation from chronological age is critical within youth sport science and long-term athlete development frameworks. Although previous investigations have explored associations between maturation status and physical fitness components in youth athletes, findings remain heterogeneous across sports disciplines, age categories, and methodological approaches. Furthermore, evidence specifically addressing adolescent male handball players remains limited, particularly within non-western populations. Given the sport-specific physical demands of handball and the potential moderating role of maturation timing, a clearer understanding of these relationships is warranted. Accordingly, the present study aimed to investigate the association between biological maturation stages and selected performance-related physical fitness variables, including upper-body explosive power, lower-body strength, anaerobic power, and sprint speed, in adolescent male handball players.



Materials and Methods: This descriptive–correlational study was conducted among 60 adolescent male handball players (mean age: 13.3 ± 1.7 years) who were recruited from handball clubs in Mashhad, Iran. Inclusion criteria were: age between 11 and 16 years, at least one year of organized handball experience, absence of musculoskeletal injury or diagnosed disease, no medication or ergogenic supplement use, and medical clearance for participation in physical testing. Exclusion criteria included injury within one month prior to testing, incomplete participation, or withdrawal from the study. Written informed consent was obtained from parents or legal guardians. Anthropometric assessments included body mass, standing height, sitting height, and leg length. Body mass index (BMI) was calculated as kg/m^2 . Biological maturation status was estimated using the Mirwald equation to determine maturity offset and years from peak height velocity (PHV). Participants were categorized into three groups: early maturers (≤ -0.5 years from PHV; $n=30$), on-time maturers (± 0.5 years from PHV; $n=15$), and late maturers ($\geq +0.5$ years from PHV; $n=15$). Physical fitness tests were administered following a standardized warm-up (10-minute continuous running and mobility exercises). Tests were performed in the following order based on National Strength and Conditioning Association (NSCA) recommendations: medicine ball throw, isometric leg dynamometer, 20-m sprint and the running-based anaerobic sprint test (RAST). Upper-body explosive power was assessed using a 3-kg medicine ball throw performed from a standardized standing position. Participants performed an overhead throw using a standardized two-hand technique, and the best distance of two trials was recorded to the nearest centimeter. 2-minute passive recovery period was provided between attempts. Lower-body maximal isometric strength was measured using a calibrated leg dynamometer. Participants performed the test in a standardized semi-squat position with knees flexed at approximately 30° , and maximal voluntary force was exerted vertically through the dynamometer chain. Two maximal trials were conducted, separated by a 3-minute rest interval, and the highest recorded value was retained for analysis. Sprint performance was evaluated over a 20-m distance using a photocell microgate timing system positioned at the start and finish lines. Participants started from a standing position 0.5 m behind the first timing gate to avoid premature triggering. Two maximal sprint trials were performed with a 3-minute passive recovery between trials, and the fastest time was used for statistical analysis. Anaerobic power was assessed using the RAST, consisting of six maximal 35-m sprints separated by 10-second passive recovery intervals. Sprint times were recorded using a photocell timing system. Anaerobic power was calculated using the standard equation: $\text{power} = (\text{body mass} \times \text{distance}^2) / \text{time}^3$. Spearman correlations were computed between maturity offset and physical fitness variables within each maturation category. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Findings: In the early maturation group, significant positive correlations were observed between biological maturation and upper-body explosive power ($r=0.42$; $p=0.01$), lower-body strength ($r=0.41$; $p=0.02$), and anaerobic power ($r=0.36$; $p=0.04$). No significant correlation was found between maturation and 20-m sprint speed ($r=0.11$; $p=0.53$). In the on-time maturation group, maturation status showed strong positive correlations with upper-body explosive power ($r=0.63$; $p=0.009$) and lower-body strength ($r=0.65$; $p=0.006$). However, no significant relationship was detected with sprint speed ($r=0.20$; $p=0.43$) or anaerobic power ($r=0.43$; $p=0.09$). In the late maturation group, significant positive correlations were identified between maturation and upper-body explosive power ($r=0.60$; $p=0.01$) as well as anaerobic power ($r=0.66$; $p=0.007$). In contrast, no significant correlation was observed between maturation and lower-body strength ($r=0.31$; $p=0.26$) or sprint speed ($r=0.07$; $p=0.79$). Across all groups, sprint performance was not significantly related to biological maturation. The magnitude of the relationship differed across groups, with stronger coefficients generally observed in on-time and late maturers compared with early maturers for selected variables. The coefficients of determination (r^2) indicated that maturation explained a greater proportion of variance in explosive and anaerobic performance among on-time and late maturers.

Table 1. Results of the Spearman correlation analysis examining the correlation between biological maturation status and physical fitness variables within maturation groups in adolescent male handball players.

Variables	Groups								
	Early maturers			On-time maturers			Late maturers		
	r	p	r ²	R	p	r ²	r	p	r ²
Upper-body explosive power	0.42	0.01*	0.17	0.63	0.009*	0.40	0.60	0.01*	0.36
Lower-body muscular strength	0.41	0.02*	0.17	0.65	0.006*	0.42	0.31	0.26	0.09
Sprint speed	0.11	0.53	0.01	0.20	0.45	0.04	0.07	0.79	0.01
Anaerobic power	0.36	0.04*	0.13	0.43	0.09	0.18	0.66	0.007*	0.43

* Significant relationship at $p < 0.05$ level.

Conclusion: Biological maturation was significantly associated with selected physical fitness components in adolescent male handball players, particularly upper-body explosive power, lower-body strength, and anaerobic performance. However, the magnitude and pattern of these associations differed across maturation groups, highlighting the moderating role of maturation timing. Sprint performance over 20 meters appeared largely independent of maturation status, suggesting a stronger influence of technical and coordination-related factors. These findings highlight that interpreting adolescent performance solely on the basis of chronological age may be misleading. These findings suggest that biological maturation does not merely determine the presence or absence of associations with performance outcomes, but rather modulates the strength and direction of these associations. Differences in hormonal timing, skeletal-muscle growth, and neuromuscular adaptations across maturation stages may account for the variability in correlations observed among groups. Coaches and practitioners should consider biological maturation status when designing training programs, monitoring development, and evaluating performance. Individualized training strategies aligned with maturation stage may optimize performance adaptations, reduce injury risk, and support long-term athlete development.

Keywords: Biological maturity, Physical fitness, Adolescence, Handball.

Compliance with ethical guidelines: This study was approved by the Ethics Committee of Ferdowsi University of Mashhad (IR.UM.REC.1403.001). All participants were informed about the study procedures and provided written informed consent.

Funding: This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflicts of interest: The authors declare no conflicts of interest.



بررسی رابطه بین دوره‌های بلوغ بیولوژیکی و متغیرهای آمادگی جسمانی بازیکنان نوجوان

هندبال پسر

صالح شب^۱، ناهید بیژه^{۲*}، جواد زارعی^۴

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲. مدرس گروه تربیت کودک، دانشکده علوم تربیتی، دانشگاه دمشق، سوریه.
۳. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴. مدرس گروه تربیت بدنی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: نوجوانی یکی از حساس‌ترین مراحل رشد انسان به شمار می‌رود که با آغاز تغییرات بیولوژیکی مرتبط با بلوغ همراه است. این پژوهش باهدف بررسی رابطه بین دوره‌های بلوغ بیولوژیکی با متغیرهای آمادگی جسمانی نوجوانان پسر هندبالیست انجام شد. **روش تحقیق:** تعداد ۶۰ پسر نوجوان هندبالیست (۱۱-۱۶ سال) به صورت هدفمند انتخاب شدند. در ابتدا اندازه‌های کین آنتروبومتریک ثبت گردید و نمره بلوغ هر شرکت‌کننده با استفاده از معادله میروالد محاسبه شد. پس از آن، آزمون‌های: توان انفجاری بالاتنه پرتاب توپ پزشکی، سرعت ۲۰ متر، قدرت عضلانی پایین تنه دینامومتر پا و توان بی‌هوازی آزمون رست گرفته شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن برای بررسی روابط بین متغیرها استفاده شد. کلیه فرضیه‌ها در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ آزمایش شدند. یافته‌ها: بلوغ زودرس رابطه مثبت معنی‌داری با توان انفجاری بالاتنه ($p = 0.019$; $r = 0.42$)، قدرت عضلانی پایین تنه ($p = 0.025$; $r = 0.41$) و توان بی‌هوازی ($p = 0.045$; $r = 0.36$) نشان دادند. بلوغ به موقع رابطه مثبت معنی‌داری با توان انفجاری بالاتنه ($p = 0.009$; $r = 0.63$) و قدرت عضلانی پایین تنه ($p = 0.006$; $r = 0.65$) نشان دادند. بلوغ دیررس رابطه مثبت معنی‌داری با توان انفجاری بالاتنه ($p = 0.018$; $r = 0.60$) و توان بی‌هوازی ($p = 0.066$; $r = 0.46$) نشان دادند. **نتیجه‌گیری:** نتایج نشان دادند که بلوغ بیولوژیکی نقش مهمی در تعیین ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکردی بازیکنان نوجوان پسر هندبال دارد.

واژه‌های کلیدی: بلوغ بیولوژیکی، هندبال، آمادگی جسمانی، نوجوانی.

* ادرس نویسنده مسئول:

خراسان رضوی، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی؛

پست الکترونیک:

bijeh@um.ac.ir



هندبال یک ورزش تیمی است که با دویدن سریع، پریدن، پرتاب کردن، ضربه زدن، بلاک کردن و هل دادن مشخص می‌شود (۱). این مدل فعالیت یک ورزش شدید محسوب می‌شود که شامل تماس فیزیکی بین ورزشکاران می‌باشد و نیاز به توانایی‌های جسمی و فنی بالایی دارد (۲). پارامترهای سرعت، چابکی، قدرت، توان عضلانی و مهارت‌های فنی، همگی از عوامل حیاتی برای موفقیت در لیگ‌های هندبال در تمام سطوح محسوب می‌شوند (۲، ۳). به‌طور قابل توجهی، قدرت و توان عضلات اندام تحتانی و فوقانی نقش مهمی در پرتاب، دویدن و پریدن بازیکنان هندبال ایفا می‌کنند (۴). باتوجه به ماهیت متناوب هندبال (تناوب در اجرای حرکات قدرتی یا سرعتی از قبیل پرتاب دادن، پرش، تغییر جهت و دوی سرعت)، بیان شده است که عملکرد ورزشی در هندبال با توانایی تولید قدرت بالا در بازه‌های زمانی کوتاه (قدرت بی‌هوازی) رابطه دارد (۵). سنجش این عوامل در بازیکنان جوان هندبال تیمی برای شناسایی و توسعه استعدادها بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۱).

نوجوانی مرحله پیچیده‌ای از رشد است که دوره را بین کودکی و بزرگسالی در بر می‌گیرد. با اینکه نوجوانی با تغییرات بیولوژیکی بلوغ شروع می‌شود و با بلوغ کامل به پایان می‌رسد، اما زمان، طول و تجربه آن به شدت وابسته به شرایط فردی و زمانی می‌باشد (۶). بلوغ در دوران نوجوانی رخ می‌دهد که با رشد جسمانی مشخص، و رشد ماهیچه‌ای-اسکلتی، فیزیولوژیکی و جنسی قابل توجه، مشخص می‌شود. این دوره، زمان تغییرات اساسی رشدی در اندازه و ترکیب بدن است، بنابراین می‌تواند تغییرات قابل توجهی در طول مدت، سرعت، زمان بلوغ و جهش رشد نوجوانان در میان کودکان در حال رشد و متولد شده در همان سال تقویمی وجود داشته باشد (۷). با توجه به تفاوت در رشد (افزایش اندازه بدن به طور کلی یا اندازه قسمت‌های خاصی از بدن در دو دهه اول زندگی انسان)، بلوغ (زمان و سرعت پیشرفت به سمت حالت بلوغ بیولوژیکی) و رشد حرکتی (کسب و اصلاح عملکرد ماهرانه در انواع فعالیت‌های حرکتی)؛ شناسایی ویژگی‌های مرتبط با عملکرد در بازیکنان جوان هندبال یک کار چالش برانگیز است و به خوبی مشخص شده است که در یک گروه سنی، سن تقویمی فرد می‌تواند تا دو یا پنج سال با سن بیولوژیکی متفاوت باشد (۸). با این حال، اطلاعات کمی در مورد رابطه بین بلوغ بیولوژیکی و قابلیت‌های اصلی عملکرد ورزشی وجود دارد (۹). تفاوت‌های فردی و جسمانی ناشی از اختلاف سطوح بلوغ در پسران به‌ویژه تفاوت در اندازه بدن، قدرت، توان و سرعت؛ طبیعتاً در عملکرد ورزشی نوجوانان مشخص می‌شود (۹). در مقابل، مطالعات متعددی در ورزش‌های تیمی نشان داده که بازیکنان با وضعیت بلوغ متفاوت، به‌طور مداوم در اجرای مهارت‌های خاص ورزشی تفاوت ندارند (۱۱-۱۳).

ترتیب ورزشکاران جوان بر اساس بلوغ بیولوژیکی می‌تواند استراتژی مؤثرتری برای گنجاندن در رقابت و تشکیل استراتژی‌های تمرینی به دلیل ارائه مناسب خواسته‌های ورزشی در مورد قابلیت‌های خاص مانند توان و قدرت عضلانی باشد (۱۴). از ابتدای



بلوغ، پسرانی که زودتر از همسالان خود به بلوغ می‌رسند، از نظر جثه و عملکرد برتری قابل توجهی دارند (۱۵). بررسی رابطه بین بلوغ و عوامل آمادگی جسمانی از نگاهی دیگری نیز حائز اهمیت می‌باشد و آن، تأثیر مرحله بلوغ بر سازگاری با تمرینات ورزشی می‌باشد (۱۶، ۱۷). تغییرات مورفولوژیکی و عصبی عمده (به‌عنوان مثال: افزایش ترشح هورمونی، میلین‌سازی سیستم عصبی مرکزی) به دلیل رشد و بلوغ رخ می‌دهد، این پارامترها می‌توانند نقش مهمی در توانایی انطباق با یک محرک تمرینی خاص داشته باشند. آگاهی از زمان اعمال یک محرک تمرینی بهینه در طول رشد ورزشکار برای برنامه‌ریزی موثر و بهبود عملکرد ورزشی ضروری است. باین‌حال، ارزیابی مؤلفه‌هایی نظیر قدرت، توان انفجاری، توان بی‌هوازی و سرعت می‌تواند بینش ارزشمندی درباره تعامل بین بلوغ بیولوژیکی و پاسخ به تمرینات قدرتی و عملکردی فراهم آورد (۱۷). محققان و پزشکان اطفال بر اهمیت در نظر گرفتن بلوغ بیولوژیکی تأکید دارند، زیرا این رویکرد امکان طراحی برنامه‌های تمرینی متناسب را فراهم می‌کند؛ به‌گونه‌ای که ضمن بهینه‌سازی سازگاری‌های تمرینی، خطر آسیب‌های مرتبط با فعالیت‌های ورزشی نیز کاهش یابد (۱۸). مراحل مختلف بلوغ (پیش، به‌موقع و پس از حداکثر سرعت قد یا PHV^۱) منجر به تغییرات فیزیولوژیکی و ساختاری خاصی می‌شود (۱۹)، لذا پایش منظم بلوغ بیولوژیکی ضرورت بالا دارد تا برنامه‌های تمرینی بر اساس درک بهتر از تغییرات جسمانی و فیزیولوژیکی مرتبط با این فرایند تنظیم شوند (۱۸). برنامه‌ریزی تمرین بر اساس وضعیت بلوغ، نتایجی بهتری به‌بار می‌آورد. بنابراین، دانستن سن بیولوژیکی ورزشکار برای اعمال محرک تمرینی مناسب ضروری است و به مربیان اجازه می‌دهد تا مناسب‌ترین محرک‌های تمرینی را برای اطمینان از رشد طولانی‌مدت ورزشکاران اجرا کنند (۱۹). چندین محقق جهش عملکرد نوجوانان در قدرت و توان را حدود ۱/۵ سال قبل از اوج سرعت قد PHV و تقریباً ۰/۵ تا ۱ سال پس از PHV پیشنهاد کرده‌اند، در حالی که مشخص شده یک دوره شتاب‌یافته در عملکرد سرعت؛ قبل از PHV رخ می‌دهد. به‌عنوان مثال، در مورد قدرت عضلانی مانو^۲ (۲۰۰۸) اظهار داشته است که اوج رشد توده عضلانی پس از اوج رشد قد اتفاق می‌افتد، به‌طوری که قدرت عضلات اندام تحتانی و فوقانی در مردان ۱/۵ سال پس از اوج رشد قد به اوج خود می‌رسد (۲۰). با این حال، کمبود دانش تجربی در مورد اثرات و بهینه‌سازی تمرین در طول رشد و بلوغ وجود دارد که منجر به گمان و بحث می‌شود (۱۷).

با توجه به ناهم‌سویی گزارش‌ها درباره همبستگی بین بلوغ بیولوژیکی و مؤلفه‌های مختلف آمادگی جسمانی در ورزشکاران نوجوان، کمبود شواهد تجربی در زمینه بازیکنان نوجوان هندبال پسر ایرانی، و همچنین ضرورت پرهیز از به‌کارگیری الگوهای تمرینی یکسان برای ورزشکاران با سطوح متفاوت بلوغ، پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه بین دوره‌های بلوغ بیولوژیکی و متغیرهای آمادگی جسمانی بازیکنان نوجوان هندبال پسر به اجرا درآمد.

¹ Peak height velocity

^۲ Manno



روش تحقیق

پژوهش حاضر با استفاده از یک طرح توصیفی-همبستگی انجام شد که در آن سطوح بلوغ بیولوژیکی و عملکرد جسمانی با آزمون‌های مختلف ارزیابی شد. برای اجرای پژوهش، مجوز از کمیته اخلاق زیستی دانشگاه فردوسی مشهد به شماره IR.U.M.REC.1403.001 گرفته شد. جامعه آماری این تحقیق را تمام پسران نوجوان هندبال باشگاه‌های شهر مشهد تشکیل داده‌اند که تعداد همه آنها ۸۰ نفر بود.

ورزشکاران شرکت‌کننده بر اساس معیارهای زیر و در صورت دارا بودن شرایط ورود به مطالعه انتخاب شدند: سن آزمودنی‌ها بین ۱۱ تا ۱۶ سال است، دارای حداقل یک سال سابقه ورزشی در رشته هندبال می‌باشند، عاری از هرگونه آسیب‌دیدگی اسکلتی-عضلانی یا بیماری است و از سلامت جسمانی برای انجام پروتکل تحقیق برخوردار بودند و تحت درمان دارویی و یا مصرف مکمل‌های ورزشی قرار نداشتند. معیارهای خروج از پژوهش شامل آسیب‌دیدگی آزمودنی‌ها در حین و یا یک ماه قبل از اجرای آزمون‌های ارزیابی، عدم شرکت در مراحل مختلف ارزیابی و عدم تمایل به همکاری در ادامه پژوهش بود. بنابراین و پس از اعلام فراخوان و بر اساس معیارهای ورود، ۶۰ نفر از نوجوانان پسر هندبالیست با میانگین سنی $13/28 \pm 1/71$ انتخاب شدند. همه بازیکنان طی یک جلسه حضوری از اهداف و روش تحقیق، اهمیت موضوع، نحوه حضور، تجهیزات مورد استفاده و نحوه اجرای آزمون‌ها مطلع شدند و رضایت والدین برای انجام تحقیق گرفته شد. سپس اطلاعات مربوط به آزمودنی‌ها از قبیل سن و سوابق پزشکی از طریق پرکردن فرم‌های مربوطه توسط آزمودنی‌ها جمع‌آوری شد. غربالگری سلامتی پیش از شرکت در فعالیت بدنی نیز با استفاده از پرسش‌نامه تعدیل‌شده اطلاعات سلامت پزشکی (۲۱) صورت گرفت که عادات و سبک زندگی فرد را مشخص می‌کند. در جلسه بعد، ابتدا متغیرهای قد، قد نشسته، طول پا، وزن و شاخص توده بدن اندازه‌گیری و سپس سطوح بلوغ بیولوژیکی برای همه هندبالیست‌های نوجوان تخمین زده شد (۲۲). برای اندازه‌گیری وزن بدن از ترازوی SECA 862 (هامبورگ، آلمان) با دقت ۱۰۰ گرم و برای اندازه‌گیری قد، قد نشسته و طول پا از قدسنج SECA 217 (هامبورگ، آلمان) با دقت ۱ میلی‌متر استفاده شد. برای اطلاع از ترکیب بدنی، شاخص توده بدن محاسبه شد (شاخص توده بدن = وزن بدن / قد^۲). برای تخمین سطوح بلوغ بیولوژیکی، PHV ورزشکاران در نظر گرفته شد که با استفاده از فرمول میروالد^۱ (۲۲) محاسبه شد.

فرمول پیش‌بینی بلوغ میروالد (سال): $-9/236 + [0/0002708 \times (\text{طول پا} \times \text{قد نشسته})] - [0/001663 \times (\text{سن} \times \text{طول پا})] + [0/007216 \times (\text{سن} \times \text{قد نشسته})] + [0/02292 \times \text{شاخص توده بدن}]$ →



بازیکنان بر اساس PHV به سه گروه تقسیم شدند: بازیکنان زودرس (۳۰ نفر): بازیکنانی که PHV آنها ۰/۵- سال یا کمتر بود؛ بازیکنان در حین بلوغ (۱۵ نفر): بازیکنانی که PHV آنها ۰/۵± سال بود؛ و بازیکنان دیررس (۱۵ نفر): کسانی که PHV آنها ۰/۵+ سال یا بیشتر بود (۲۲). لازم به ذکر است که این تعداد گزینشی نبودند، بلکه بر اساس معیار و ابزار گرفته شده (۳۰ نفر بلوغ زودرس، ۱۵ نفر بلوغ به موقع و ۱۵ نفر بلوغ دیررس داشته اند). به عنوان مثال، با توجه به متغیرهای تشکیل دهنده معادله میروالد، اگر عدد به دست آمده از فرمول برای یک فرد ۰/۵- یا کمتر بود پس آن نفر در گروه بلوغ زودرس قرار دارد. اگر عدد به دست آمده از فرمول برای یک فرد بین ۰/۵- و ۰/۵+ بود پس آن فرد در گروه در حین بلوغ قرار دارد.

در ادامه، شرکت کنندگان آزمون‌های جسمانی پیشنهادی را انجام دادند. یک هفته قبل از اندازه‌گیری‌ها، جلسه‌ای برای آشنایی با پروتکل‌های هر آزمون جسمانی برگزار شد. از سوی دیگر، قبل از هر جلسه آزمون‌های جسمانی، یک گرم کردن استاندارد شامل ده دقیقه دویدن مداوم و تمرینات جنبش‌پذیری صورت گرفت. از بازیکنان خواسته شد آزمون‌های جسمانی را با بیشترین میزان تلاش اجرا نمایند. برای اندازه‌گیری سرعت از آزمون سرعت ۲۰ متری استفاده شد و رکورد با استفاده از یک فوتوسل میکروگیت^۱ ساخت ایران، بر حسب ثانیه و صدم ثانیه ثبت گردید. آزمودنی‌ها دو مسابقه ۲۰ متری را در یک مسیر سرپوشیده دویدند که با سه دقیقه استراحت از هم فاصله داشت. وضعیت شروع استاندارد با پای خروجی پشت خط شروع بود. آزمودنی‌ها سعی کردند مسافت ۲۰ متر را در کمترین زمان ممکن بدون بهترین زمان از دو تلاش ثبت شد (۲۳). برای ارزیابی توان انفجاری بالاتنه، آزمایش پرتاب توپ پزشکی بالای سر با استفاده از یک توپ پزشکی سه کیلوگرمی انجام شد و رکورد بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید. به شرکت کنندگان دستور داده شد از وضعیت ایستاده تا توپ را تا حد امکان به جلو پرتاب کنند. پاها در طول آزمایش ثابت می‌ماند و حرکات جانبی بالاتنه مجاز بود. فاصله پرتاب با نزدیک‌ترین نقطه از مکان ایستادن به سانتی‌متر ثبت شد و بهترین پرتاب با حداقل دو دقیقه استراحت بین تلاش‌ها برای آنالیز گرفته شد (۲۴). برای ارزیابی قدرت عضلانی پایین‌تنه حداکثر قدرت اکستنسور ایزومتریک با استفاده از دینامومتر پا مورد سنجش قرار گرفت و رکورد بر حسب کیلوگرم ثبت شد. شرکت کنندگان روی پایه دینامومتر ایستادند و پاهای خود را به اندازه عرض یک شانه از هم باز کردند و میله دسته را که در سراسر ران‌ها قرار داشت، گرفت. طول زنجیر دینامومتر طوری تنظیم شد که در ابتدا پاها که با زاویه ۳۰ درجه خم شود و میله را در سطح کشکک قرار گیرد. سپس شرکت کنندگان زنجیر دینامومتر را بلند کردند و با حداکثر قدرت ممکن به سمت بالا کشیدند. دو آزمایش تکمیل شد و بالاترین امتیاز ثبت گردید. یک فاصله استراحت سه دقیقه بین هر آزمایش مجاز بود (۲۵). برای ارزیابی توان بی‌هوای از آزمون رست^۲ استفاده شد و رکورد با استفاده از یک کرنومتر بر حسب ثانیه و صدم ثانیه

Photocell microgate¹

Rast²



ثبت گردید. در ابتدا، توده بدن با تمام لباس‌های مورد استفاده در آزمون رست اندازه‌گیری شد. شرکت‌کنندگان مسیری ۳۵ متری را شش مرتبه با حداکثر سرعت طی کردند که با فاصله ده ثانیه‌ای بین هر دوی سرعت استراحت داشتند. با استفاده از فرمول [توان = (توده بدن × مسافت^۲) / زمان^۳]، توان بی‌هوازی فرد محاسبه شد (۲۶). آزمون‌ها به ترتیب زیر انجام شد: پرتاب توپ پزشکی، قدرت عضلانی پایین‌تنه، سرعت ۲۰ متری، آزمون رست. این ترتیب در نحوه اجرای آزمون‌های جسمانی با پیروی از توصیه‌های انجمن ملی قدرت و آمادگی جسمانی NSCA^۱ انتخاب شد که بر اساس مسیرهای متابولیکی مورد نیاز و خستگی ایجاد شده توسط هر آزمون جسمانی است و بین تلاش‌های هر آزمون پنج دقیقه استراحت در نظر گرفته شد تا تداخل خستگی کمترین اثر ممکن را داشته باشد (۲۷).

روش‌های آماری: اطلاعات توصیفی شامل میانگین و انحراف معیاری برای کلیه متغیرهای آنتروپومتریکی و آمادگی جسمانی محاسبه و در قالب جداول ارائه شد. برای بررسی طبیعی بودن توزیع متغیرها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۲ استفاده شد. با توجه به عدم توزیع طبیعی داده‌ها و به منظور تعیین رابطه بین سطوح بلوغ و متغیرهای آمادگی جسمانی نمونه‌ها، از آزمون ناپارامتریک ضریب همبستگی اسپیرمن^۳ استفاده شد. تمام آزمون‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ انجام شد. سطح آماری معنی‌داری در این پژوهش $p < 0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

جدول شماره یک اطلاعات توصیفی زمینه‌ای و ویژگی‌های جمعیت شناختی آزمودنی‌های هر سه گروه بلوغ زودرس، به‌موقع و دیررس آورده شده است. در جدول شماره دو نتایج آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن برای تعیین رابطه بین هر یک از گروه‌های بلوغ با متغیرهای آمادگی جسمانی ارائه شده است. همان‌طور که در جدول دو نشان داده شده است، بین بلوغ زودرس و توان انفجاری بالاتنه ($r=0.42$; $p=0.019$)، قدرت عضلانی پایین‌تنه ($r=0.41$; $p=0.025$) و توان بی‌هوازی ($r=0.36$; $p=0.045$) رابطه مثبت معنی‌داری وجود دارد اما با سرعت ($r=0.11$; $p=0.534$) رابطه معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین نشان داده شد که بین بلوغ به‌موقع و توان انفجاری بالاتنه ($r=0.63$; $p=0.009$) و قدرت عضلانی پایین‌تنه ($r=0.65$; $p=0.006$) رابطه مثبت معنی‌داری وجود دارد اما با سرعت ($r=0.20$; $p=0.453$) و با توان بی‌هوازی ($r=0.43$; $p=0.095$) رابطه معنی‌داری بدست نیامد. از طرف دیگر، مشخص گردید که بین بلوغ دیررس و توان انفجاری بالاتنه ($r=0.60$; $p=0.018$) و توان بی‌هوازی ($r=0.66$; $p=0.007$) رابطه مثبت معنی‌داری وجود دارد اما با سرعت

¹ National strength and conditioning association

² Smirnov-Kolmogorov

³ Spirman



علوم زیستی در ورزش

مطالعات کاربردی



($p=0/07$; $r=0/31$) و با قدرت عضلانی پایین تنه ($p=0/26$; $r=0/31$) رابطه معنی داری مشاهده نگردید (جدول دو).

جدول ۱- توصیف (میانگین انحراف استاندارد) ویژگی‌های زمینه‌ای و جمعیت شناختی بازیکنان هندبال شرکت کننده در تحقیق.

بلوغ دبیرس (۱۵ نفر)		بلوغ به موقع (۱۵ نفر)		بلوغ زودرس (۳۰ نفر)		گروه
انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	متغیر
۱/۱۹	۱۵/۵۳	۰/۹۹	۱۳/۶۴	۰/۶۴	۱۱/۹۷	سن (سال)
۵/۶۶	۱۸۳/۴۶	۷/۳۶	۱۷۴/۵۶	۶/۹۹	۱۵۵/۹۳	قد (سانتی‌متر)
۱۰/۰۷	۷۵/۵۲	۱۳/۸۳	۶۷/۶۰	۱۰/۴۳	۴۸/۸۵	وزن (کیلوگرم)
۲/۷۷	۲۲/۴۲	۳/۹۲	۲۲/۱۰	۳/۹۹	۲۰/۰۲	شاخص توده بدن (کیلوگرم/متر)
۰/۵۰	۱/۶۵	۰/۶۲	-۰/۰۳	۰/۵۶	-۱/۸۹	پیش‌بینی بلوغ (سال)
۹۲/۶۶	۷۷۸/۸۶	۸۷/۵۱	۶۷۹/۹۳	۸۶/۷۹	۴۸۳	توان انفجاری بالاتنه (سانتی‌متر)
۲۳/۴۱	۱۶۰/۳۳	۱۷/۱۷	۱۲۹/۹۳	۱۷/۰۵	۹۳/۷۰	قدرت عضلانی پایین تنه (کیلوگرم)
۰/۵۰	۳/۷۶	۰/۴۵	۴/۰۸	۰/۴۲	۴/۴۶	سرعت (ثانیه)
۱۳۹/۰۹	۴۲۳/۲۶	۱۰۴/۴۳	۳۰۸/۷۵	۵۱/۰۱	۲۰۶/۷۳	توان بی‌هوازی (وات)

جدول ۲- نتایج آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن در مورد رابطه بین دوره‌های بلوغ بیولوژیکی و متغیرهای آمادگی جسمانی بازیکنان هندبال نوجوان پسر.

گروه									متغیر
بلوغ دبیرس			بلوغ به موقع			بلوغ زودرس			
r^2	p	ضریب مقدار r	r^2	p	ضریب مقدار r	r^2	p	ضریب مقدار r	
۰/۳۶	*۰/۰۱۸	۰/۶۰	۰/۴۰	*۰/۰۰۹	۰/۶۳	۰/۱۷	*۰/۰۱۹	۰/۴۲	توان انفجاری بالاتنه
۰/۰۹	۰/۲۶۰	۰/۳۱	۰/۴۲	*۰/۰۰۶	۰/۶۵	۰/۱۷	*۰/۰۲۵	۰/۴۱	قدرت عضلانی پایین تنه
۰/۰۱	۰/۷۹۰	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۴۵۳	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۵۳۴	۰/۱۱	سرعت



۰/۴۳

*۰/۰۰۷

۰/۶۶

۰/۱۸

۰/۰۹۵

۰/۴۳

۰/۱۳

*۰/۰۴۵

۰/۳۶

توان بی‌هوایی

*نشانه رابطه معنی‌داری در سطح $P \leq 0/05$

بحث

یافته‌های حاصل از این تحقیق نشان داد که رابطه بین سطوح بلوغ بیولوژیکی و مؤلفه‌های مختلف آمادگی جسمانی به‌طور متفاوتی در گروه‌های مختلف بلوغ تجلی می‌یابد که این امر بر پیچیدگی فرایندهای رشد و تکامل در دوران نوجوانی تأکید می‌کند.

یکی از قابل‌توجه‌ترین یافته‌های این پژوهش، وجود رابطه معنی‌داری بین سطوح بلوغ بیولوژیکی و توان انفجاری بالاتنه در هر سه گروه بلوغ است. ضرایب تعیین نشان داد که در گروه بلوغ به‌موقع ($r^2=0/40$) و گروه بلوغ دیررس ($r^2=0/36$) به ترتیب ۴۰ و ۳۶ درصد از تغییرات توان انفجاری بالاتنه توسط شاخص‌های بلوغ بیولوژیکی تبیین می‌شود، در حالی که این میزان در گروه بلوغ زودرس تنها ۱۷ درصد ($r^2=0/17$) بود. این نتیجه بیانگر آن است که نقش بلوغ بیولوژیکی در تبیین توان انفجاری بالاتنه در نوجوانان به‌موقع و دیررس، برجسته‌تر از نوجوانان زودرس است. این یافته با نتایج مطالعه رومیروگارسیا^۱ و دیگران (۲۰۲۳) که بر روی هندبالیست‌های نوجوان انجام شد، همسو است و نشان می‌دهد که توسعه توان انفجاری بالاتنه به‌طور مستقیم تحت تأثیر فرایندهای بلوغ بیولوژیکی قرار می‌گیرد (۲۸). از منظر فیزیولوژیکی، این رابطه قوی را می‌توان به افزایش ترشح هورمون‌های آنابولیک، به‌ویژه هورمون تستوسترون و هورمون رشد طی دوران بلوغ نسبت داد. این هورمون‌ها منجر به افزایش تولید پروتئین عضلانی، رشد آلیاف عضلانی نوع II و بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی می‌شوند که همگی عوامل کلیدی در توسعه توان انفجاری محسوب می‌شوند. مطالعه مالینا^۲ و دیگران (۲۰۰۴) نیز بر نقش محوری این تغییرات هورمونی در توسعه قدرت و توان عضلانی طی دوران بلوغ تأکید کرده‌اند (۲۹). از منظر دیگر، رابطه قوی بین بلوغ بیولوژیکی و عملکرد پرتاب توپ پزشکی احتمالاً ناشی از وابستگی شدید این آزمون به توده عضلانی، طول اندام و هماهنگی عصبی-عضلانی است که همگی بیشتر از تاریخ تولد تحت تأثیر مستقیم رشد بیولوژیکی قرار می‌گیرند. نوجوانان بالغ از نظر بیولوژیکی معمولاً افزایش بیشتری در قدرت عضلانی و قدرت بالاتنه را تجربه می‌کنند و این می‌تواند به آنها مزیت آشکاری در کارهای مبتنی بر قدرت می‌دهد (۳۰). در مطالعه حاضر، قوی‌تر بودن رابطه بین بلوغ بیولوژیکی و توان انفجاری بالاتنه به ترتیب در گروه‌های بلوغ به‌موقع و دیررس نسبت به گروه بلوغ زودرس



نشان می‌دهد که اثرات بلوغ بر توسعه توان انفجاری بالاتنه احتمالاً ماهیتی تدریجی و وابسته به زمان‌بندی تغییرات رشد دارد. در این مراحل، ممکن است تغییرات هورمونی و سازگاری‌های عصبی-عضلانی همچنان در حال وقوع بوده و نقش پررنگ‌تری در تبیین تفاوت‌های عملکردی ایفا می‌کند، در حالی‌که در بلوغ زودرس، بروز زود هنگام این تغییرات می‌تواند به کاهش شدت همبستگی مشاهده شده؛ منجر شود.

نتایج این پژوهش نشان داد که تنها بین بلوغ زودرس و بین بلوغ به‌موقع و قدرت عضلانی پایین‌تنه رابطه مثبت معنی‌داری وجود دارد، در حالی‌که در افراد بلوغ دیررس این رابطه معنی‌دار نبود. این یافته با نتایج مطالعه اوچاوی^۱ و دیگران (۲۰۲۴) که بر روی هندبال‌بالیست‌های ۱۳ تا ۱۹ ساله انجام شد، همسو نیست. آن‌ها گزارش کردند که علیرغم عدم وجود تمایز آماری خاصی بین گروه‌های مختلف بلوغ (زودرس، به‌موقع و دیررس)، ورزشکاران پس از دوره بلوغ، عملکرد برتری در پرش عمودی، چابکی و عملکرد هوازی نسبت به هم‌تایان پیش از بلوغ خود دارند (۲). همچنین، یافته‌های ما با مطالعه سائورا^۲ و دیگران (۲۰۲۲) که بر روی والیبالیست‌های نوجوان انجام شد، ناهمسو است. آن‌ها نشان دادند که بلوغ بیولوژیکی همبستگی معنی‌داری با آزمون‌های آمادگی جسمانی در همه گروه‌های سنی دارد که نشان‌دهنده رابطه قوی‌تر و یکنواخت‌تر بین بلوغ و قدرت عضلانی است (۳۱). از علل احتمالی ناهمسوئی نتایج ورزشکاران بلوغ دیررس در مطالعه حاضر با مطالعات پیشین می‌تواند ناشی از تفاوت در آزمون‌های به‌کار گرفته‌شده باشد، زیرا آزمون‌هایی که وابستگی بیشتری به هیپرتروفی عضلانی، فعال‌سازی واحدهای حرکتی تند انقباض و بلوغ سیستم عصبی دارند؛ نسبت به تغییرات ناشی از بلوغ بیولوژیکی حساس‌تر بوده و از این‌رو ممکن است در ورزشکاران بلوغ دیررس الگوهای عملکردی متفاوتی را آشکار سازند (۹). از سوی دیگر، تفاوت در دامنه سنی نمونه‌ها (در برخی مطالعات دامنه سنی تا ۱۹ سالگی گزارش شده است، در حالی‌که حداکثر سن ورزشکاران در پژوهش حاضر ۱۶ سال بود) و این نیز می‌تواند یکی از دلایل احتمالی ناهمسوئی نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین باشد. در مطالعاتی که تاثیر بلوغ بیولوژیکی و سن نسبی^۳ بر مؤلفه‌های آمادگی جسمانی بررسی گردیده، نشان داده شده که در گروهی از پسران در مراحل پس از بلوغ، حتی تفاوت‌های اندک در میزان رشد از جمله اختلاف چند ماهه در سال تولد؛ می‌تواند بر عملکرد جسمانی آن‌ها اثرگذار باشد. به‌عنوان مثال ممکن است که بین دو پسر با سن تقویمی ۱۷ سال و ۱۷ سال و پنج‌ماه؛ تفاوت‌هایی در قدرت عضلانی مشاهده شود زیرا فردی که با سن بالاتر احتمالاً مراحل رشد بیشتر، تجربه تمرینی طولانی‌تر و در نتیجه توده عضلانی و سازگاری‌های فیزیولوژیکی بیشتری را تجربه کرده است (۳۲). در پژوهش ما؛ قوی‌تر بودن این رابطه در گروه بلوغ به‌موقع ($r^2=0/42$) نسبت به گروه بلوغ زودرس ($r^2=0/17$) می‌تواند به تفاوت در الگوهای رشد و تکامل سیستم اسکلتی-عضلانی در مراحل مختلف بلوغ مرتبط باشد؛

Aouichaoui¹Saura²Relative age³



هرچند بررسی مستقیم این سازوکارها در پژوهش حاضر انجام نشده است، اما بر اساس شواهد گزارش شده در ادبیات علمی، در دوره بلوغ به موقع هماهنگی نسبی بین رشد طولی استخوان‌ها و افزایش توده عضلانی مطرح شده است که ممکن است به بهبود توانایی تولید نیرو کمک کند (۹). سائورا^۱ و دیگران (۲۰۲۱) در متاآنالیز خود نشان دادند که نوجوانان با بلوغ به موقع معمولاً بهترین نتیجه در انواع مختلف آزمون‌های قدرت عضلانی را نشان می‌دهند (۳۳). عدم معنی‌داری این رابطه در گروه بلوغ دیررس می‌تواند ناشی از این باشد که این نوجوانان هنوز در مراحل اولیه تغییرات هورمونی قرار دارند و توسعه قدرت عضلانی پایین‌تنه نیاز به زمان بیشتری برای تکامل کامل دارد. همچنین، مائیس^۲ و دیگران (۲۰۱۳) در مطالعه خود بر روی هندبال‌بایست‌های نوجوان اشاره کردند که توسعه قدرت عضلانی در اندام‌های مختلف بدن در بازه‌های زمانی متفاوتی نسبت به اوج سرعت رشد قد رخ می‌دهد (۳۴). با این حال، این تفسیر با یافته‌های مطالعات دیگر که نشان می‌دهند حتی نوجوانان در مراحل اولیه بلوغ نیز بهبود قابل توجهی در قدرت عضلانی تجربه می‌کنند، همخوانی ندارد (۲). از منظر فیزیولوژیکی، رابطه قوی بین بلوغ بیولوژیکی و قدرت عضلانی اندام تحتانی را می‌توان به افزایش ترشح تستوسترون در طول دوره نوجوانی نسبت داد زیرا تستوسترون هیپرتروفی انتخابی فیبرهای عضلانی نوع II را تحریک می‌کند. رشد توده عضلانی اسکلتی، افزایش نسبت فیبرهای عضلانی تند انقباض، افزایش قطر فیبر عضلانی، سطح مقطع عضله و طول عضله از جمله تغییرات همراه با بلوغ هستند که به بهبود قدرت عضلانی منجر می‌شوند (۲).

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که رابطه بین بلوغ بیولوژیکی و توان بی‌هوازی در گروه‌های بلوغ زودرس و بلوغ دیررس معنی‌دار است، اما در گروه بلوغ به‌موقع این رابطه معنی‌دار نبود. این الگوی مشاهده شده جالب توجه بوده و نشان‌دهنده پیچیدگی سیستم‌های انرژی طی دوران بلوغ می‌باشد. قوی‌ترین رابطه در گروه بلوغ دیررس ($r^2=0/43$) مشاهده شد که می‌تواند نشان‌دهنده حساسیت بالای سیستم فسفوکراتین و گلیکولیز بی‌هوازی به تغییرات بلوغ در این مرحله باشد. مطالعه فالک^۳ و دیگران (۱۹۹۳) نشان داده است که توان بی‌هوازی طی دوران بلوغ دستخوش تغییرات چشمگیری می‌شود که عمده‌تاً ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های گلیکولیتیک و بهبود ظرفیت عضلات برای تولید انرژی بی‌هوازی است (۳۵). عدم معنی‌داری این رابطه در گروه بلوغ به‌موقع ممکن است ناشی از تعادل نسبی بین سیستم‌های هوازی و بی‌هوازی در این مرحله باشد. قبل از و حین بلوغ، تمایل ورزشکاران جوان به شرایط بی‌هوازی با شدت بالا محدود است و ورزشکاران نوجوان قبل از بلوغ ظرفیت کمتری برای متابولیسم گلیکولیتیک دارند (۳۶). از سوی دیگر میزان پیشرفت‌های مربوط به بلوغ در ظرفیت بی‌هوازی در طول بلوغ



تقریباً زمانی به اوج خود می‌رسد که منحنی رشد ورزشکاران جوان به حداکثر سرعت رشد قد می‌رسد (۳۷). ارمسترنگ^۱ و دیگران (۲۰۰۱) بیان کردند که نوجوانان در مراحل میانی بلوغ معمولاً از تعادل بهتری بین سیستم‌های انرژی مختلف برخوردارند (۳۸). از منظر فیزیولوژیکی، در طول فعالیت بدنی، اگرچه متابولیسم غالب در کودکان و نوجوانان در حین بلوغ از نوع اکسیداتیو (هوازی) است، اما با پیشرفت بلوغ بیولوژیکی، کارایی مسیرهای بی‌هوازی گلیکولیتیک افزایش می‌یابد (۳۹) و به تدریج نقش غالب‌تری در تولید انرژی ایفا می‌کنند. بلوغ به طور قابل توجهی توان بی‌هوازی را در نوجوانان از طریق افزایش توده عضلانی (هدایت شده توسط تستوسترون)، بهبود فعالیت آنزیم‌های گلیکولیتیک و بهبود هماهنگی عصبی-عضلانی افزایش می‌دهد (۴۰).

یکی از جالب‌ترین یافته‌های این پژوهش، عدم وجود رابطه معنی‌دار بین سطوح بلوغ بیولوژیکی و سرعت ۲۰ متر در هیچ‌یک از گروه‌های بلوغ بود. این یافته با برخی از مطالعات قبلی مانند فیلیپپرتس^۲ و دیگران (۲۰۰۶) که عدم وجود رابطه معنی‌داری بین بلوغ و سرعت گزارش کردند (۴۱) و همچنین ویلوتا^۳ و دیگران (۲۰۲۱) که نشان داده‌اند بلوغ بیولوژیکی با سرعت ۲۰ متری ارتباط معنی‌داری ندارد (۴۲)، همسو است. این عدم رابطه را می‌توان از چندین منظر تفسیر کرد. نخست، سرعت به‌عنوان یک مؤلفه چند بعدی، نه تنها به قدرت عضلانی بلکه به عوامل تکنیکی، هماهنگی حرکتی و کارایی بیومکانیکی نیز وابسته است. میلان^۴ و دیگران (۲۰۱۴) نشان دادند که توسعه سرعت در نوجوانان بیشتر تحت تأثیر یادگیری حرکتی و بهبود تکنیک دویدن قرار می‌گیرد تا تغییرات فیزیولوژیکی ناشی از بلوغ (۱۷). دوم، ممکن است فاصله ۲۰ متری برای آشکارسازی تأثیرات بلوغ بر سرعت کافی نباشد، زیرا این فاصله عمدتاً شتاب و سرعت اولیه را می‌سنجد که ممکن است کمتر تحت تأثیر تغییرات بلوغ قرار گیرد. مطالعه ونتنن^۵ و دیگران (۲۰۱۰) نشان داد که آزمون‌های سرعت در مسافت‌های طولانی‌تر، به دلیل درگیری بیشتر سیستم‌های عضلانی و متابولیکی، حساسیت بالاتری به تغییرات ناشی از بلوغ بیولوژیکی نسبت به آزمون‌های سرعت کوتاه دارند (۴۳).

به‌طور کلی، اگرچه در برخی مؤلفه‌های آمادگی جسمانی رابطه بین بلوغ بیولوژیکی و عملکرد در بیش از یک گروه بلوغ مشاهده شد، اما تفاوت در شدت همبستگی و میزان واریانس تبیین‌شده (R²) بین گروه‌های بلوغ نشان می‌دهد که بلوغ بیولوژیکی صرفاً حضور یا عدم حضور رابطه را تعیین نمی‌کند، بلکه ماهیت و قدرت این رابطه را تعدیل می‌نماید. به بیان دیگر، مشاهده یک رابطه مشابه در گروه‌های مختلف بلوغ الزاماً به معنای سازوکار یکسان نیست و تفاوت در شدت روابط می‌تواند بازتاب‌دهنده

Armstrong¹

Philippaerts²

Villouta³

Meylan⁴

Vänttinen⁵

تفاوت در زمان بندی تغییرات هورمونی، رشد عضلانی و سازگاری های عصبی-عضلانی در مراحل مختلف بلوغ باشد. این یافته ها تأکید می کنند که تفسیر عملکرد نوجوانان بدون در نظر گرفتن وضعیت بلوغ بیولوژیکی می تواند منجر به قضاوت های ساده انگارانه شود.

نتیجه گیری: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بلوغ بیولوژیکی تأثیر معنی داری بر برخی مؤلفه های آمادگی جسمانی هندبالست های نوجوان دارد، به ویژه در توان انفجاری و قدرت عضلانی است. این یافته ها بیانگر نقش تغییرات هورمونی و رشد عضلانی در بهبود عملکرد جسمانی طی بلوغ هستند. در مقابل، عدم وجود رابطه بین بلوغ و سرعت نشان می دهد که مهارت های حرکتی و عوامل تکنیکی می توانند اثر تعیین کننده تری در این مؤلفه داشته باشند. به طور کلی، ناهمگونی روابط مشاهده شده بین گروه های مختلف بلوغ بر اهمیت فردمحور بودن تمرینات تأکید دارد. توجه هم زمان به بلوغ بیولوژیکی و نیازهای فیزیولوژیکی هر ورزشکار می تواند به بهینه سازی رشد عملکردی، کاهش آسیب دیدگی و حفظ مشارکت بلندمدت نوجوانان در ورزش منجر شود.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافی در خصوص این مقاله وجود ندارد.

قدردانی و تشکر

این مطالعه برگرفته از پایان نامه دکتری رشته فیزیولوژی ورزشی گروه فیزیولوژی ورزشی دانشگاه فردوسی مشهد می باشد. بدینوسیله از مربیان و آزمودنی های شرکت کننده در پژوهش نهایت تشکر و قدردانی را به عمل می آید.

منابع

1. Matthys S, Vaeyens R, Coelho-e-Silva M, Lenoir M, Philippaerts R. The contribution of growth and maturation in the functional capacity and skill performance of male adolescent handball players. *International Journal of Sports Medicine*. 2012;543-9. <https://doi.org/10.1055/s-0031-298000>
2. Aouichaoui C, Krichen S, Tounsi M, Ammar A, Tabka O, Chatti S, et al. Reference values of physical performance in handball players aged 13–19 years: taking into account their biological maturity. *Clinics and Practice*. 26-305:(1)14;2024 <https://doi.org/10.3390/clinpract14010024>
3. Shbib S, Rashidlamir A, Hakak Dokht E. The effects of plyometric training and β -alanine supplementation on anaerobic power and serum level of carnosine in handball players. *Sport Sciences for Health*. 2021;1:8. <https://doi.org/10.1007/s11332-020-00709-4>



- .4 Philipp NM, Cabarkapa D, Marten KM, Cabarkapa DV, Mirkov DM, Knezevic OM, et al. Horizontal deceleration performance in professional female handball players. *Biomechanics*. 2023;3(3):299-309. <https://doi.org/10.3390/biomechanics3030026>
- .5 Póvoas SC, Seabra AF, Ascensão AA, Magalhães J, Soares JM, Rebelo AN. Physical and physiological demands of elite team handball. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2012;26(12):3365-75. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e318248ae4e>
- .6 Gowers S. Development in adolescence. *Psychiatry*. 2005;4(6):6-9. <https://doi.org/10.1383/psyt.4.6.6.66353>
- .7 Meylan C, Cronin J, Oliver J, Hughes M. Talent identification in soccer: The role of maturity status on physical, physiological and technical characteristics. *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2010;5(4):571-92. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.5.4.571>
- .8 Malina RM, Reyes MEP, Figueiredo AJ, e Silva MJC, Horta L, Miller R, et al. Skeletal age in youth soccer players: implication for age verification. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2010;20(6):469-74. <https://doi.org/10.1097/jsm.0b013e3181f827ea>
- .9 Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation, and physical activity: *Human kinetics*; 2004
- .10 Almeida-Neto PFD, de Matos DG, Pinto VCM, Dantas PMS, Cesario TdM, da Silva LF, et al. Can the neuromuscular performance of young athletes be influenced by hormone levels and different stages of puberty? *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(16):5637. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165637>
- .11 Silva M, Carvalho HM, Gonçalves C, Figueiredo A, Elferink-Gemser M, Philippaerts R, et al. Growth, maturation, functional capacities and sport-specific skills in 12-13 year-old basketball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2010;50(2):174-81. <https://hdl.handle.net/10316/97566>
- .12 Figueiredo AJ, Gonçalves CE, Coelho E Silva MJ, Malina RM. Youth soccer players, 11–14 years: maturity, size, function, skill and goal orientation. *Annals of Human Biology*. 2009;36(1):60-73. <https://doi.org/10.1080/03014460802570584>
- .13 Malina RM, Cumming SP, Kontos AP, Eisenmann JC, Ribeiro B, Aroso J. Maturity-associated variation in sport-specific skills of youth soccer players aged 13–15 years. *Journal of Sports Sciences*. 2005;23(5):515-22. <https://doi.org/10.1080/02640410410001729928>
- .14 Almeida-Neto PFD, de Medeiros RCdSC, de Matos DG, Baxter-Jones AD, Aida FJ, de Assis GG, et al. Lean mass and biological maturation as predictors of muscle power and strength performance in young athletes. *Plos One*. 2021;16(7):e0254552. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254552>
- .15 Johnson A, Farooq A, Whiteley R. Skeletal maturation status is more strongly associated with academy selection than birth quarter. *Science and Medicine in Football*. 2017;1(2):157-63. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1283434>
- .16 Asadi A, Ramirez-Campillo R, Arazi H, Saez de Villarreal E. The effects of maturation on jumping ability and sprint adaptations to plyometric training in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*. 2018;36(21):2405-11. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1459151>
- .17 Meylan C, Cronin JB, Oliver J, Hopkins W, Contreras B. The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11–15-year-olds. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2014;24(3):e156-e64. <https://doi.org/10.1111/sms.12128>
- .18 Lloyd RS, Oliver JL, Faigenbaum AD, Myer GD, Croix MBDS. Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2014;28(5):1454-64. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000391>
- .19 Fernández-Galván LM, Jiménez-Reyes P, Cuadrado-Peñafiel V, Casado A. Sprint performance and mechanical force-velocity profile among different maturational stages in young soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(3):1412. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031412>
- .20 Manno R. Muscle strength development in children and adolescents: training and physical conditioning. *Med Sport*. 2008;61:273-97.



- .21 Warburton DE, Jamnik VK, Bredin SS, Gledhill N. The physical activity readiness questionnaire for everyone (PAR-Q+) and electronic physical activity readiness medical examination (ePARmed-X+). *The Health & Fitness Journal of Canada*. 2011;4(2):3-17. <https://doi.org/10.14288/hfjc.v4i2.103>
- .22 Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2002;34(4):689-94. <https://doi.org/10.1249/00005768-200204000-00020>
- .23 Ortega-Becerra M, Pareja-Blanco F, Jiménez-Reyes P, Cuadrado-Peñañiel V, González-Badillo JJ. Determinant factors of physical performance and specific throwing in handball players of different ages. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2018;32(6):1778-86. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002050>
- .24 López-Plaza D, Alacid F, Muyor JM, López-Miñarro PÁ. Differences in anthropometry, biological age and physical fitness between young elite kayakers and canoeists. *Journal of Human Kinetics*. 2017;57:181. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0059>
- .25 Hannibal NS, Plowman SA, Looney MA, Brandenburg J. Reliability and validity of low back strength/muscular endurance field tests in adolescents. *Journal of Physical Activity and Health*. 2006;3(s2):S78-S89. <https://doi.org/10.1123/jpah.3.s2.s78>
- .26 Zagatto AM, Beck WR, Gobatto CA. Validity of the running anaerobic sprint test for assessing anaerobic power and predicting short-distance performances. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2009;23(6):1820-7. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181b3df32>
- .27 Coburn JW, Malek MH. *Manual NSCA: fundamentos del entrenamiento personal*: Paidotribo; 2017.
- .28 Romero-García D, Vaquero-Cristóbal R, Albaladejo-Saura M, Esparza-Ros F, Martínez-Sanz JM. Influence of Biological Maturation Status on Kinanthropometric Characteristics, Physical Fitness and Diet in Adolescent Male Handball Players. *Applied Sciences*. 2023;13(5):3012. <https://doi.org/10.3390/app13053012>
- .29 Malina RM, Eisenmann JC, Cumming SP, Ribeiro B, Aroso J. Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13–15 years. *European Journal of Applied Physiology*. 2004;91:555-62. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0995-z>
- .30 Till K, Cogley S, O'Hara J, Cooke C, Chapman C. Considering maturation status and relative age in the longitudinal evaluation of junior rugby league players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2014;24(3):569-76. <https://doi.org/10.1111/sms.12033>
- .31 Albaladejo-Saura M, Vaquero-Cristóbal R, García-Roca JA, Esparza-Ros F. Influence of biological maturation status on selected anthropometric and physical fitness variables in adolescent male volleyball players. *PeerJ*. 2022;10:e13216. <https://doi.org/10.7717/peerj.13216>
- .32 Parr J, Winwood K, Hodson-Tole E, Deconinck FJ, Hill JP, Teunissen JW, et al. The main and interactive effects of biological maturity and relative age on physical performance in elite youth soccer players. *Journal of Sports Medicine*. 2020;2020:1-11. <https://doi.org/10.1155/2020/1957636>
- .33 Albaladejo-Saura M, Vaquero-Cristóbal R, González-Gálvez N, Esparza-Ros F. Relationship between biological maturation, physical fitness, and kinanthropometric variables of young athletes: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(1):328. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010328>
- .34 Matthys SP, Fransen J, Vaeyens R, Lenoir M, Philippaerts R. Differences in biological maturation, anthropometry and physical performance between playing positions in youth team handball. *Journal of Sports Sciences*. 2013;31(12):1344-52. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.781663>
- .35 Falk B, Bar-Or O. Longitudinal changes in peak aerobic and anaerobic mechanical power of circumpubertal boys. *Pediatric Exercise Science*. 1993;5(4):318-31. <https://doi.org/10.1123/pes.5.4.318>
- .36 Praagh V. Development of anaerobic function during childhood and adolescence. *Pediatric Exercise Science and Medicine in Football*. 2000;12(2):150-73. <https://doi.org/10.1123/pes.12.2.150>
- .37 de Moraes JFVN, Batista PLO, da Silva MAFM, Pinto EF, Siqueira LP, Almeida CMM, et al. Aerobic and Anaerobic Capacity of Male Students According to Age and Pubertal Stage. *Journal of Exercise Physiology Online*. 2018;21(2):84-90.



- .38 Armstrong N, Welsman J. Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11-to 17-year-old humans. *European Journal of Applied Physiology*. 2001;85(6):546-51. <https://doi.org/10.1007/s004210100485>
- .39 Almeida-Neto PFD, Silva LFD, Miarka B, De Medeiros JA, de Medeiros RCdSC, Teixeira RPA, et al. Influence of advancing biological maturation on aerobic and anaerobic power and on sport performance of junior rowers: A longitudinal study. *Frontiers in Physiology*. 2022;13:892966. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.892966>
- .40 Rowland TW. Children's exercise physiology. *Human Kinetics*. 2005. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00269>
- .41 Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, Van Renterghem B, Matthys D, Craen R, et al. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*. 2006;24(3): 30-221 <https://doi.org/10.1080/02640410500189371>
- .42 Luna-Villouta P, Paredes-Arias M, Flores-Rivera C, Hernández-Mosqueira C, Souza de Carvalho R, Faúndez-Casanova C, et al. Anthropometric characterization and physical performance by age and biological maturation in young tennis players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2024;18(20):10893. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010893>
- .43 Vääntinen T, Blomqvist M, Luhtanen P, Häkkinen K. Effects of age and soccer expertise on general tests of perceptual and motor performance among adolescent soccer players. *Perceptual and Motor Skills*. 2010;110(3):675-92. <https://doi.org/10.2466/pms.110.3.675-692>

The relationship between Biological Maturation Stages and physical fitness variables in adolescent male handball players

Saleh Shbib^{1,2} , Nahid Bijeh³ , Javad Zaree⁴ 

1. PhD Student in Exercise Physiology, Faculty of Sport Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Saleh.shbib@gmail.com Iran.
2. Lecturer at Department of Child Education, Faculty of Education, Damascus University, Damascus, Syria.
3. Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. bijeh@um.ac.ir
4. Lecturer at Department of Physical Education, Faculty of Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, j.zaree@ferdowsi.um.ac.ir Mashhad, Iran

Department of Exercise Physiology, Ferdowsi Corresponding Author Address, Faculty of Sport Science,
Email: bijeh@um.ac.ir University of Mashhad, Mashhad, Iran.



Article Info

Abstract

Background and Aim: Adolescence is one of the most sensitive stages of human development, which is accompanied by the onset of biological changes associated with puberty. During this period, accurate prediction of biological maturation plays an important role in optimizing sports performance and reducing vulnerability. This study aimed to investigate the relationship between biological maturation periods and physical fitness variables in adolescent male handball players. **Materials and Methods:** This was a field study and was descriptive and correlational. The statistical population consisted of adolescent handball players in Mashhad, and 60 adolescent male handball players with an average age of 13.3 ± 1.7 years, height of 167.6 ± 13.7 cm, and weight of 60.33 ± 16.2 kg were selected purposefully. Initially, kinanthropometric measurements (height, weight, body mass index, sitting height, and leg length) were recorded, and the maturity score of each participant was calculated using the Mirwald equation, and then randomly the following tests were taken: upper body explosive power of medicine ball throwing, 20-meter speed, lower body muscle strength of extensor dynamometer, and anaerobic power of the Rast test. Spearman correlation coefficient test were used to analyze the data to examine the relationships between variables. All hypotheses were tested at a significance level of $p < 0.05$. **Results:** Early puberty showed a significant positive relationship with upper body explosive power ($r=0.42$; $p=0.019$), lower body muscular strength ($r=0.41$; $p=0.025$), and anaerobic power ($r=0.36$; $p=0.045$). Ontime puberty showed a significant positive relationship with upper body explosive power ($r=0.63$; $p=0.009$) and lower body muscular strength ($r=0.65$; $p=0.006$). Late puberty showed a significant positive relationship with upper body explosive power ($r=0.60$; $p=0.018$) and anaerobic power ($r=0.66$; $p=0.007$).

Conclusion: The results showed that biological maturity plays an important role in determining the physiological and functional characteristics of adolescent male handball players. Accordingly, talent identification and training programs should consider the status of biological maturity.

Key Words: Biological maturity, Physical fitness, Adolescence, Handball