

Theofilou, G.; Ladakis, I.; Mavroidi, C.; Kilintzis, V.; Mirachtsis, T.; Chouvarda, I.; Kouidi, E.

## **Vliv programu tréninku vizuálních podnětů na reakční čas, kognitivní funkce a fyzickou zdatnost u mladých fotbalistů.**

*Sensors* 2022, 22, 6680.

<https://doi.org/10.3390/s22176680>

Akademický editor: Michael E. Hahn

Přijato: 29. června 2022

Schváleno: 1. září 2022

Publikováno: 3. září 2022

### **Abstrakt:**

Cílem této studie bylo zjistit, zda může program vizuálních podnětů během fotbalového tréninku ovlivnit reakční čas (RT), kognitivní funkce a fyzickou zdatnost u adolescentních fotbalistů. Třicet osm fotbalistů ve věku 10–15 let bylo náhodně zařazeno buď do intervenční skupiny (skupina A), nebo do kontrolní skupiny (skupina B). Na začátku a na konci šestiměsíční studie byly k hodnocení schopností účastníků použity FITLIGHT Trainer, Cognitive Function Scanner Mobile Test Suite, hra ve virtuální realitě (VR) a testovací baterie ALPHA-Fitness a Eurofit.

Po vstupním testování absolvovala skupina A běžný fotbalový trénink doplněný o program vizuálních podnětů, zatímco skupina B pokračovala pouze v běžném tréninku po dobu 6 měsíců. Na konci studie skupina A vykázala statisticky významná zlepšení v jednoduchém RT o 11,8 % ( $p = 0,002$ ), v opakovaných sprintech o 13,4 % ( $p \leq 0,001$ ) a v testu „pero–bod“ o 71,62 % ( $p < 0,001$ ) pro dominantní ruku a 72,51 % pro nedominantní ruku. Analýza mezi skupinami však ukázala, že ve většině sledovaných měření nebyly statisticky významné rozdíly.

**Závěr:** Program tréninku vizuálních podnětů se nezdá přinášet dodatečný přínos k tradičnímu fotbalovému tréninku adolescentů. Tato studie však podtrhuje potenciál nově vznikajících technologií jako nástroje pro hodnocení reakčního času.

**Klíčová slova:** reakční čas; kognitivní funkce; fyzická zdatnost; FITLIGHT Trainer; zorné pole; VR; fotbalisté

# Úvod

Sportovní zrak je nově se rozvíjející oblast oftalmologie, která se zaměřuje na zlepšení vizuálních funkcí i sportovního výkonu. Stávající literatura ukazuje, že zrak hraje v tělesné výkonnosti zásadní roli [1–4].

Studie Spera et al. přinesla zajímavé výsledky ohledně vlivu zraku na posturální stabilitu při porovnání vidících a nevidomých sportovců [5]. Několik dalších studií ukázalo, že zrak má klíčový význam v praxi sportovců, a proto by vizuální trénink měl být součástí přípravy [6,7]. Bylo zjištěno, že fotbalisté mají lepší periferní vidění, prostorové vnímání hloubky a schopnost sledovat pohybující se objekty ve srovnání s nesportovci [8].

Mezi hlavní proměnné spojené se sportovním zrakem patří vizuální reakční čas a periferní vidění [1,9]. **Vizuální reakční čas (RT)** souvisí s kontrolou pohybu a regulačními procesy, které jsou ovládány centrální nervovou soustavou a svalovou činností. **Motorický RT** je naproti tomu definován jako čas od podnětu k dokončení akce a zahrnuje jak senzorické, tak motorické komponenty [1,10].

Je zřejmé, že zrak hraje zásadní roli u sportovců, protože musí pečlivě sledovat a zpracovávat vizuální podněty specifické pro daný sport. Optimální propojení centrálního a periferního vizuálního vnímání je proto klíčové [1,11,12].

Podle starší studie je reakční čas ovlivňován věkem, pohlavím a typem podnětu [13]. Ukázalo se, že RT se prodlužuje s věkem a že muži mívají rychlejší RT než ženy [13]. Dále se zjistilo, že RT je kratší u podnětů světelných než u zvukových [13].

U adolescentů mají RT a související proměnné zvláštní význam, protože jejich centrální nervová soustava se stále vyvíjí. Některé studie ukazují, že trénink vizuálních podnětů může zlepšit RT, kognitivní funkce a sportovní výkon [14–16]. Další práce prokázaly, že RT úzce souvisí s tělesnou zdatností a kognitivními schopnostmi [17–20]. To naznačuje, že komplexní přístup zahrnující fyzickou kondici, kognitivní trénink a vizuální stimuly může být zvláště účinný u mladých sportovců.

Cílem této studie tedy bylo prozkoumat, zda program tréninku vizuálních podnětů může ovlivnit RT, fyzickou zdatnost a kognitivní funkce mladých fotbalistů.

# Materiály a metody

## Studijní populace

Tato randomizovaná kontrolovaná studie se zúčastnilo původně 42 mladých fotbalistů (chlapců) ve věku 10 až 15 let, kteří neměli žádné známé oční onemocnění. Na konci šestiměsíčního období dokončilo studii 38 hráčů: 18 v intervenční skupině (skupina A) a 20 v kontrolní skupině (skupina B). Fotbalová zkušenost účastníků se pohybovala mezi 1 a 7 lety.

## Protokol studie

Výzkum probíhal ve velké fotbalové akademii v severním Řecku. Mladí hráči a jejich rodiče byli předem informováni o cíli a metodologii.

- **Vstupní testování** probíhalo během jednoho dopoledne (9:00–12:00).
- Po krátkém zahřátí následoval test opakovaného sprintu (5 minut).
- Poté se hodnotil reakční čas pomocí FITLIGHT Trainer (10 minut) a test zorného pole ve virtuální realitě (max. 3 minuty).
- Následovalo testování flexibility (sed–předklon), test kreslení obrázku, test „pero–bod“, test stisku ruky a manuální dynamometrie.
- Mezi jednotlivými testy byla vždy 10minutová pauza.

Sportovci byli následně **náhodně rozděleni** do skupin pomocí online programu (randomizer.org).

- **Skupina A:** 6 měsíců běžný trénink + 15 minut vizuálních podnětů před každým tréninkem.
- **Skupina B:** pouze běžný trénink.

Aby mohli být zařazeni do závěrečné analýzy, museli hráči absolvovat alespoň 85 % tréninkových jednotek. Po 6 měsících byla měření zopakována. Hodnotitelé testů byli **slepí** vůči zařazení hráčů do skupin.

Etická komise Fakulty tělesné výchovy a sportovních věd Aristotelovy univerzity v Soluni schválila tuto studii (protokol č. 68/2021). Všichni účastníci měli písemný souhlas rodičů nebo zákonných zástupců.

# Měření

## Hodnocení reakčního času

K hodnocení byl použit **FITLIGHT Trainer** (FITLIGHT Sports Corp., Kanada). Tento systém obsahoval tři senzory, rozmístěné do půlkruhu o poloměru 35 cm, přičemž vzdálenost mezi senzory byla 20 cm.

- **Jednoduchý reakční čas (SRT):** hráč používal k reakci dominantní nohu.
- **Komplexní reakční čas (CRT):** hráč musel reagovat dominantní nohou na zelený podnět a nedominantní nohou na červený podnět.

## Hodnocení fyzické zdatnosti

Použity byly testy z baterií **EUROFIT** a **ALPHA-Fitness**:

- **Manuální dynamometrie:** KForce Link – měření izometrické síly střední části stehen (rychlost rozvoje síly, RFD).
- **Stisk ruky:** digitální dynamometr Jamar Smart – měřeno na obou rukách, zaznamenán byl nejlepší pokus.
- **Sed–předklon:** hodnocení flexibility dolní části zad a hamstringů.
- **Opakovaný sprint:** pět opakování mezi dvěma čarami vzdálenými 5 metrů, co nejrychleji.

## Kognitivní testy

Použita byla aplikace **Cognitive Function Scanner Mobile Test Suite (Dánsko)**, dále test kreslení a test „pero–bod“.

- **Kreslení obrázku:** hráč měl kopírovat křivku co nejpřesněji, bez zvednutí tužky (dominantní i nedominantní ruka). Čas se měřil, přesnost byla hlavním kritériem.
- **Pero–bod:** hráč musel digitálním perem přesně zasáhnout střed křížků v řadě (dominantní i nedominantní ruka).

## Hodnocení zorného pole

Použita byla aplikace ve **virtuální realitě** (Oculus GO / Quest 2), vyvinutá Aristotelovou univerzitou. Úkol: soustředit se na zelený kříž a reagovat na bílý míček objevující se v periferním poli stisknutím tlačítka co nejrychleji. Aplikace zaznamenávala úhly i reakční časy.

## Program vizuálních podnětů ve fotbale

Hráči ve skupině A absolvovali **15 minut vizuálního tréninku před každým tréninkem**, 5× týdně po dobu 6 měsíců.

Použité nástroje: světelné senzory **Blazepod**, fotbalový míč, kužely.

Zařazeno bylo 8 typů cvičení, které se kombinovaly podle věku a postu hráče:

1. Střelba – při zeleném světle střela na bránu.
2. Skákání – skok při zeleném světle, stop při červeném.
3. Střelba dominantní / nedominantní nohou podle barvy.
4. Vedení míče – pohyb při zelené, stop při červené.
5. Přihrávka s trenérem + nahlášení barvy světla.
6. Reflexní soutěž – dva hráči soutěží, kdo dříve zasáhne senzor.
7. Plank s dotykem senzorů rukama.
8. Výskoky do strany při zelené, stop při červené.

Brankáři měli více cvičení zaměřených na střelbu a posilování, záložníci více na koordinaci a rychlé reakce.

## Statistická analýza

Data jsou prezentována jako průměr ± směrodatná odchylka (SD). K analýze byl použit software IBM SPSS Statistics verze 27.0.1.0.

- Normalita rozložení byla ověřena **Shapiro–Wilkovým testem**.
- Pokud byla normalita potvrzena, použily se parametrické testy; v opačném případě neparametrické.
- Pro srovnání měření **uvnitř skupin** (před vs. po) byly použity párový t-test a Wilcoxonův test pořadí.
- Pro srovnání rozdílů **mezi skupinami** (změna po – před) byl použit nepárový t-test a Mann–Whitneyho test.
- U některých proměnných byla k vyrovnání počátečních rozdílů použita **ANCOVA**.
- Korelace mezi věkem, zkušeností, RT a RFD byly hodnoceny pomocí **Pearsonových a Spearmanových korelací**.
- Dále byly provedeny **lineární a vícenásobné regresní analýzy**.
- Za statisticky významné bylo považováno  $p < 0,05$ .

# Výsledky

Během šestiměsíční studie vypadli čtyři sportovci (tři ze skupiny A a jeden ze skupiny B) kvůli zranění nebo nedodržení protokolu. Zbývajících 38 hráčů dokončilo program a splnilo podmínku účasti alespoň v 85 % tréninkových jednotek. Trenéři kontrolovali docházku a případné absence byly kompenzovány náhradními jednotkami.

Průměrný věk účastníků byl **12,24 ± 1,76 roku** a průměrná fotbalová zkušenost **3,32 ± 2,32 roku**.

Table 1. Clinical and anthropometric characteristics of the athletes.

| Clinical Characteristics  | Mean Value ± SD |               | Range (Minimum—Maximum Value) |            | Independent <i>t</i> -Test Report   |
|---------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------|------------|-------------------------------------|
|                           | Group A         | Group B       | Group A                       | Group B    |                                     |
| Age (years)               | 12.72 ± 1.81    | 11.80 ± 1.64  | 10–15                         | 10–15      | <i>t</i> = −1.648, <i>p</i> = 0.108 |
| Height (m)                | 1.602 ± 0.112   | 1.52 ± 0.136  | 1.41–1.79                     | 1.3–1.8    | <i>t</i> = −2.065, <i>p</i> = 0.066 |
| Weight (kg)               | 52.03 ± 16.24   | 47.75 ± 14.31 | 31–90                         | 24–72      | <i>t</i> = −0.864, <i>p</i> = 0.393 |
| BMI                       | 19.91 ± 4.34    | 20.39 ± 4.12  | 15.5–33.5                     | 13.36–28.4 | <i>t</i> = −0.354, <i>p</i> = 0.726 |
| Soccer Experience (years) | 5.43 ± 1.74     | 1.59 ± 0.71   | 3–8                           | 1–3        | <i>t</i> = −7.735, <i>p</i> < 0.001 |

## Klinické a antropometrické charakteristiky

- Tabulka 1 shrnuje základní klinické a antropometrické charakteristiky obou skupin.
- Mezi skupinami nebyly významné rozdíly kromě délky fotbalové zkušenosti, která byla výrazně delší u skupiny A.
- Také ve vstupních testech fyzické zdatnosti se skupiny významně nelišily, což potvrzuje jejich relativní homogenitu.
- Obrázek 2 (CONSORT diagram) ukazuje průběh studie a rozdělení účastníků.

## Reakční čas (FITLIGHT)

- **Skupina A** po 6 měsících významně zlepšila **jednoduchý RT (SRT)** o 11,8 % (*p* = 0,002) a také **komplexní RT (CRT)** (*p* = 0,020).
- **Skupina B** nevykázala uvnitř skupiny významné zlepšení ani v SRT, ani v CRT.
- **Mezi skupinami** však rozdíly po 6 měsících nebyly statisticky významné.
- Detailní hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 2.

## Fyzická zdatnost

- **Opakovaný sprint:** Skupina A dosáhla po programu významného zlepšení o 13,4 % ( $p < 0,001$ ). Skupina B také zaznamenala malé, ale statisticky významné zlepšení ( $p < 0,001$ ). Mezi skupinami byl rozdíl po intervenci významný ve prospěch skupiny A.
- **Stisk ruky:** Obě skupiny vykázaly významné zlepšení u dominantní i nedominantní ruky. Mezi skupinami však rozdíly nebyly statisticky významné.
- **Flexibilita (sed–předklon):** V obou skupinách došlo k mírnému zlepšení, ale bez významného rozdílu mezi skupinami.
- Podrobné výsledky shrnuje Tabulka 3.

## Kognitivní funkce

- **Test „pero–bod“:** Obě skupiny se významně zlepšily, a to u dominantní i nedominantní ruky. Mezi skupinami se však po kontrole počátečních rozdílů pomocí ANCOVA neukázal významný efekt.
- **Test kreslení obrázku:** Došlo k významnému zlepšení v rámci obou skupin, pokud jde o čas i přesnost. Mezi skupinami ale rozdíly nebyly statisticky významné.
- Tabulky 4 a 5 obsahují detailní data.

## Virtuální realita – zorné pole

- Všichni účastníci měli monokulární i binokulární izoptéry v normě.
- Reakční čas ve VR (VR-RT) se během programu v rámci skupin nezměnil významně.
- Mezi skupinami po 6 měsících nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly.
- Analýza ANCOVA však ukázala hraniční efekt ( $F = 4,124$ ;  $p = 0,05$ ).
- Tabulka 6 obsahuje hodnoty VR-RT.

| Reaction Time (s)—Fitlight Trainer | Mean Value $\pm$ SD |                 |                 |                 | Statistical Tests Report      |                             | Independent <i>t</i> -Test Report<br>A vs. B |
|------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|
|                                    | Group A             |                 | Group B         |                 | Group A                       | Group B                     |                                              |
|                                    | Pre                 | Post            | Pre             | Post            | Wilcoxon Ranks                | Wilcoxon Ranks              |                                              |
| SRT                                | 0.85 $\pm$ 0.15     | 0.75 $\pm$ 0.18 | 0.84 $\pm$ 0.2  | 0.82 $\pm$ 0.14 | $Z = -3.049$ ,<br>$p = 0.002$ | $Z = -0.187$<br>$p = 0.852$ | $t = 1.675$<br>$p = 0.103$                   |
| CRT                                | 0.97 $\pm$ 0.13     | 0.92 $\pm$ 0.17 | 1.08 $\pm$ 0.19 | 1.02 $\pm$ 0.13 | $Z = -2.330$ ,<br>$p = 0.020$ | $Z = -1.288$<br>$p = 0.198$ | $t = -0.065$<br>$p = 0.949$                  |

SRT: simple reaction time, CRT: complex reaction time, SD: standard deviation, Pre: pre-intervention, Post: post-intervention.

**Table 3.** Physical fitness measurements at baseline and the end of the 6-month study.

| Physical Fitness Measures      | Mean Value $\pm$ SD |                   |                  |                   | Statistical Tests Report (Paired <i>t</i> -Test/Wilcoxon Ranks) |                              | Mann-Whitney/Independent <i>t</i> -Test Report<br>A vs. B |
|--------------------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                                | Group A             |                   | Group B          |                   | Group A                                                         | Group B                      |                                                           |
|                                | Pre                 | Post              | Pre              | Post              |                                                                 |                              |                                                           |
| RFD (Kg/s)                     | 10.37 $\pm$ 6.03    | 20.29 $\pm$ 13.86 | 14.57 $\pm$ 8.79 | 19.72 $\pm$ 17.23 | $Z = -3.114$<br>$p = 0.002$                                     | $Z = -0.952$<br>$p = 0.341$  | $U = 115.5$<br>$p = 0.059$                                |
| (R) Hand grip (Kg)             | 16.02 $\pm$ 8.62    | 27.69 $\pm$ 11.71 | 12.33 $\pm$ 6.11 | 23.30 $\pm$ 9.41  | $Z = -4.107$<br>$p < 0.001$                                     | $Z = -3.920$<br>$p < 0.001$  | $t = -0.536$<br>$p = 0.595$                               |
| (L) Hand grip (Kg)             | 14.63 $\pm$ 8.94    | 26.00 $\pm$ 10.67 | 12.56 $\pm$ 6.41 | 24.16 $\pm$ 10.01 | $Z = -4.107$<br>$p < 0.001$                                     | $t = -12.521$<br>$p < 0.001$ | $t = 0.194$<br>$p = 0.847$                                |
| Sit-and-reach flexibility (cm) | 4.06 $\pm$ 5.79     | -3.72 $\pm$ 5.63  | 0.47 $\pm$ 5.87  | -2.00 $\pm$ 6.63  | $Z = -3.725$<br>$p < 0.001$                                     | $Z = -2.279$<br>$p = 0.023$  | $t = 3.978$<br>$p < 0.001$                                |
| Repeated sprint (s)            | 21.19 $\pm$ 1.17    | 24.02 $\pm$ 2.64  | 22.78 $\pm$ 1.51 | 22.63 $\pm$ 1.44  | $Z = -3.409$<br>$p < 0.001$                                     | $Z = -3.923$<br>$p < 0.001$  | $U = 36$<br>$p < 0.001$                                   |

RFD: rate of force development, (R) hand grip: right hand hand grip, (L) hand grip: left hand hand grip, SD: standard deviation, Pre: pre-intervention, Post: post-intervention.

**Table 4.** Figure drawing test results at baseline and the end of the 6-month study.

| Cognitive Test—Figure Drawing     | Mean Value $\pm$ SD |                  |                   |                   | Statistical tests Report (Paired <i>t</i> -Test/Wilcoxon Ranks) |                              | Mann-Whitney/Independent <i>t</i> -Test Report<br>A vs. B |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                                   | Group A             |                  | Group B           |                   | Group A                                                         | Group B                      |                                                           |
|                                   | Pre                 | Post             | Pre               | Post              |                                                                 |                              |                                                           |
| Performance (s)—Dominant Hand     | 30.86 $\pm$ 11.46   | 38.92 $\pm$ 9.83 | 32.58 $\pm$ 15.83 | 44.68 $\pm$ 19.32 | $Z = -2.638$<br>$p = 0.008$                                     | $Z = -2.438$<br>$p = 0.015$  | $t = 0.993$<br>$p = 0.328$                                |
| Pen Lifts—Dominant Hand           | 0.75 $\pm$ 1.07     | 0.56 $\pm$ 0.71  | 1.30 $\pm$ 1.86   | 0.79 $\pm$ 0.28   | $t = 0.382$<br>$p = 0.708$                                      | $t = 0.362$<br>$p = 0.722$   | $U = -175$<br>$p = 0.880$                                 |
| Performance (s)—Non-Dominant Hand | 25.17 $\pm$ 9.09    | 32.37 $\pm$ 9.97 | 27.68 $\pm$ 13.06 | 33.86 $\pm$ 14.71 | $t = -3.106$<br>$p = 0.007$                                     | $Z = -1.539$<br>$p = 0.124$  | $t = 0.062$<br>$p = 0.951$                                |
| Pen Lifts—Non-Dominant Hand       | 0.63 $\pm$ 0.96     | 0.72 $\pm$ 0.90  | 0.60 $\pm$ 1.46   | 0.40 $\pm$ 0.75   | $t = -0.382$<br>$p = 0.708$                                     | $t = 0.308$ ,<br>$p = 0.762$ | $U = 163$<br>$p = 0.578$                                  |

SD: standard deviation, Pre: pre-intervention, Post: post-intervention.

**Table 5.** Pen-to-point test results at baseline and the end of the 6-month study.

| Cognitive Test—Pen to Point (s) | Mean Value $\pm$ SD |                  |                   |                  | Statistical Tests Report    |                             | ANCOVA Analysis Report<br>A vs. B |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
|                                 | Group A             |                  | Group B           |                  | Group A                     | Group B                     |                                   |
|                                 | Pre                 | Post             | Pre               | Post             | Wilcoxon Ranks              | Wilcoxon Ranks              |                                   |
| Dominant Hand                   | 89.47 $\pm$ 26.69   | 25.39 $\pm$ 6.80 | 65.89 $\pm$ 27.94 | 23.67 $\pm$ 7.09 | $Z = -3.351$<br>$p < 0.001$ | $Z = -3.527$<br>$p < 0.001$ | $F = 0.542$<br>$p = 0.467$        |
| Non-Dominant Hand               | 98.50 $\pm$ 5.60    | 27.08 $\pm$ 7.56 | 61.58 $\pm$ 30.73 | 25.69 $\pm$ 9.00 | $Z = -3.516$<br>$p < 0.001$ | $Z = -3.101$<br>$p = 0.002$ | $F = 0.196$<br>$p = 0.661$        |

SD: standard deviation, Pre: pre-intervention, Post: post-intervention.

| Visual Field—Reaction Time (s) | Mean Value $\pm$ SD |                 |                 |                 | Statistical Tests Report   |                            | ANCOVA Analysis Report<br>A vs. B |
|--------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
|                                | Group A             |                 | Group B         |                 | Group A                    | Group B                    |                                   |
|                                | Pre                 | Post            | Pre             | Post            | Paired <i>t</i> -Test      | Wilcoxon Ranks             |                                   |
| VF                             | 0.67 $\pm$ 0.32     | 0.61 $\pm$ 0.31 | 1.06 $\pm$ 0.39 | 0.88 $\pm$ 0.32 | $t = 0.893$<br>$p = 0.384$ | $Z = 1.717$<br>$p = 0.086$ | $F = 4.124$ ,<br>$p = 0.05$       |

VF: visual field test, SD: standard deviation, Pre: pre-intervention, Post: post-intervention.

## Korelace

Analýza Pearsonových a Spearmanových korelací ukázala několik významných vztahů:



- **Věk a fotbalová zkušenost** spolu pozitivně korelovaly – starší hráči měli více let tréninku.
- **Věk a reakční časy (SRT, CRT):** negativní korelace – starší a zkušenější hráči měli kratší (rychlejší) reakční časy.
- **Věk a RFD (rychlost rozvoje síly):** pozitivní korelace – starší hráči vykazovali vyšší hodnoty RFD.
- **Fotbalová zkušenost a VR-RT/CRT:** hráči s delší praxí dosahovali lepších výsledků jak v komplexním RT, tak v testech reakčního času ve VR.

Tyto výsledky potvrzují, že věk a zkušenost významně ovlivňují reakční časy i neuromuskulární výkon.

Table 7. Correlation table.

| Correlations          | Pearson/Spearman Coefficient and <i>p</i> -Value |                            |
|-----------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
|                       | Pre                                              | Post                       |
| Age—SRT               | $\rho = -0.489, p = 0.002$                       | $\rho = -0.579, p < 0.001$ |
| Age—CRT               | $r = -0.360, p = 0.026$                          | $r = -0.558, p < 0.001$    |
| Age—RFD               | $\rho = 0.489, p = 0.002$                        | $\rho = 0.571, p < 0.001$  |
| Age—VF                | Not statistically significant                    | $\rho = -0.406, p = 0.011$ |
| Soccer Experience—VF  | $\rho = -0.416, p = 0.020$                       | $\rho = -0.456, p = 0.010$ |
| Soccer Experience—CRT | $r = -0.425, p = 0.017$                          | $r = -0.469, p = 0.008$    |
| Age—Soccer Experience | $r = 0.445, p = 0.012$                           |                            |

SRT: simple reaction time, CRT: complex reaction time, RFD: rate of force development, VF: visual field test, Pre: pre-intervention, Post: post-intervention. *r* refers to Pearson's correlation coefficient and  $\rho$  to Spearman's correlation coefficient.

## Regresní analýza

### Lineární regrese (skupina A)

Byly identifikovány proměnné, které významně predikovaly jednoduchý reakční čas (SRT):

- **VR-RT ( $p < 0,001$ )**
- **Komplexní RT (CRT,  $p < 0,001$ )**
- **RFD (rychlost rozvoje síly,  $p = 0,006$ )**
- **Opakovaný sprint ( $p = 0,014$ )**
- **Stisk ruky (levá i pravá ruka,  $p = 0,046$  a  $p = 0,032$ )**
- **Flexibilita (sed-předklon,  $p = 0,012$ )**

**Table 8.** Linear regression analysis—Group A.

| Variables       | Group A                                     |
|-----------------|---------------------------------------------|
| VR-RT           | $F(1, 16) = 25.070, p < 0.001, R^2 = 0.610$ |
| CRT (FITLIGHT)  | $F(1, 16) = 79.789, p < 0.001, R^2 = 0.833$ |
| DomFigure       | $F(1,16) = 0.256, p = 0.620, R^2 = 0.016$   |
| NonDomFig       | $F(1,16) = 1.195, p = 0.291, R^2 = 0.069$   |
| DomPen          | $F(1,16) = 0.028, p = 0.869, R^2 = 0.002$   |
| NonDomPen       | $F(1,16) = 0.131, p = 0.722, R^2 = 0.008$   |
| RFD             | $F(1,16) = 9.808, p = 0.006, R^2 = 0.380$   |
| Repeated Sprint | $F(1,16) = 7.693, p = 0.014, R^2 = 0.325$   |
| HandGripL       | $F(1,16) = 4.659, p = 0.046, R^2 = 0.226$   |
| HandGripR       | $F(1,16) = 5.516, p = 0.032, R^2 = 0.256$   |
| SRT             | $F(1,16) = 8.096, p = 0.012, R^2 = 0.336$   |

VR-RT: virtual reality–reaction time (visual field test), CRT (FITLIGHT): complex reaction time using FITLIGHT, DomFigure: figure drawing test for dominant hand, NonDomFig: figure drawing test for non-dominant hand, DomPen: pen-to-point for dominant hand, NonDomPen: pen-to-point for non-dominant hand), RFD: rate of force development, HandGripL: hand grip for left hand, HandGripR: hand grip for right hand, SRT: sit-and-reach flexibility test.

To ukazuje, že SRT úzce souvisí jak s výsledky kognitivních a motorických testů, tak i s fyzickou zdatností.

## Vícenásobná regrese

Vícenásobná regrese potvrdila, že nejvýznamnějším prediktorem **SRT** byl **VR-RT** ( $t = 3,393$ ;  $p = 0,019$ ).

Jinými slovy – výsledky z testu reakčního času ve virtuální realitě byly nejsilnějším ukazatelem pro predikci jednoduchého reakčního času.

**Table 9.** Multiple regression analysis—Group A: Coefficients of the variables participating in the development of the multiple regression model. VR-RT has the most significant predictive role in this model.

| Variables       | Group A                 |
|-----------------|-------------------------|
| VR-RT           | $t = 3.393, p = 0.019$  |
| CRT (Fitlight)  | $t = 1.776, p = 0.136$  |
| DomFigure       | $t = 0.473, p = 0.656$  |
| NonDomFig       | $t = -0.768, p = 0.477$ |
| DomPen          | $t = 0.796, p = 0.462$  |
| NonDomPen       | $t = -0.125, p = 0.905$ |
| RFD             | $t = -0.018, p = 0.987$ |
| Repeated Sprint | $t = 1.088, p = 0.326$  |
| HandGripL       | $t = 1.784, p = 0.134$  |
| HandGripR       | $t = -1.017, p = 0.356$ |
| SRT             | $t = -0.913, p = 0.403$ |

# Diskuze

Cílem této studie bylo zjistit, zda má trénink vizuálních podnětů vliv na reakční čas (RT), fyzickou zdatnost a kognitivní funkce mladých fotbalistů. Výsledky ukázaly, že program vizuálních podnětů nepřinesl dodatečný efekt nad rámec běžného fotbalového tréninku.

## Shrnutí hlavních zjištění

- **Skupina A** (s vizuálním programem) vykazala uvnitř skupiny významná zlepšení v jednoduchém RT, opakovaném sprintu a kognitivních testech (zejména test „pero–bod“).
- **Skupina B** (bez vizuálního programu) se také v některých parametrech zlepšila (např. ve stisku ruky a opakovaném sprintu), ale v menším rozsahu.
- **Mezi skupinami** však rozdíly po 6 měsících nebyly statisticky významné.

## Porovnání s literaturou

Tato zjištění částečně odpovídají předchozím studiím, které ukázaly, že reakční čas a vizuální schopnosti lze zlepšit tréninkem, ale efekt nemusí být jednoznačně vyšší oproti běžné sportovní přípravě. Některé studie naznačují, že fotbalisté mají přirozeně lepší periferní vidění a rychlejší reakce než nesportovci, což by mohlo vysvětlit, proč rozdíly mezi skupinami nebyly průkazné.

Další výzkumy ukázaly, že RT souvisí nejen s vizuálními stimuly, ale také s kognitivními schopnostmi, pozorností a úrovní fyzické kondice. Například děti a adolescenti, kteří se věnují sportu, vykazují lepší výsledky v testech pozornosti a rychlosti zpracování informací než jejich nesportující vrstevníci.

## Význam komplexního reakčního času (CRT)

Zlepšení CRT u skupiny A je důležité, protože CRT zahrnuje složitější kognitivní procesy, jako je rozpoznání podnětu a volba reakce. Tyto procesy jsou úzce spojené s pozorností a rozhodovacími schopnostmi – dovednostmi zásadními pro kolektivní sporty, jako je fotbal.

## Virtuální realita (VR)

Použití VR v této studii neprokázalo jasná zlepšení reakčního času. Je však třeba zdůraznit, že testy ve VR jsou svou povahou komplexnější a vyžadují vyšší úroveň kognitivních funkcí, což může vysvětlit, proč výsledky nebyly jednoznačné. Přesto VR

testy vykázaly určitou prediktivní hodnotu, což naznačuje, že VR může být užitečným nástrojem pro budoucí diagnostiku a trénink.

## Neuroplasticita a vliv tréninku

Jedním z vysvětlení pozorovaných zlepšení může být **neuroplasticita** – schopnost mozku přizpůsobovat se podnětům a měnit svou strukturu i funkci. Fyzická aktivita a kognitivní stimulace vedou k lepšímu prokrvení mozku, zvýšení hladiny neurotrofinů (proteinů podporujících růst a přežití neuronů) a posílení synaptických spojení. Tyto procesy mohou zlepšovat kognitivní schopnosti i motorické výkony, což podporuje význam integrace vizuálních a kognitivních cvičení do sportovního tréninku.

## Limity studie

- **Velikost vzorku:** pouze 38 účastníků, což omezuje statistickou sílu.
- **Pohlaví:** studie zahrnovala pouze chlapce, výsledky proto nelze zobecnit na dívky.
- **Sportovní zaměření:** účastníci byli výhradně fotbalisté, což omezuje možnost aplikace výsledků na jiné sporty.
- **Délka trvání:** šestiměsíční program je relativně krátký k posouzení dlouhodobých efektů.

## Praktické implikace

Přestože vizuální program nepřinesl průkazně vyšší efekt než běžný trénink, jeho využití má smysl:

- může podporovat rozvoj pozornosti a kognitivních dovedností,
- přináší hráčům pestrost a motivaci,
- technologie jako FITLIGHT a VR se mohou stát praktickými nástroji pro trenéry a fyzioterapeuty.

## Závěr

Tato studie ukázala, že zlepšení kognitivních funkcí (pozornost, koncentrace) a fyzické zdatnosti může vést ke zlepšení reakčního času (RT), což následně zvyšuje sportovní výkon u mladých fotbalistů.

Přestože intervenční skupina (s vizuálním programem) vykázala významná vnitroskupinová zlepšení, mezi skupinami se neprokázal statisticky významný rozdíl. To

naznačuje, že samotný vizuální program nepřinesl dodatečný efekt oproti standardnímu fotbalovému tréninku.

Studie však poukazuje na potenciál nových technologií (např. VR) jako nástroje pro hodnocení a rozvoj RT. Tyto technologie mohou být v budoucnu cenným doplňkem tréninkového procesu.

## Etické schválení

Studie byla schválena Etickou komisí Fakulty tělesné výchovy a sportovních věd Aristotelovy univerzity v Soluni (protokol č. 68/2021).

## Souhlas se zapojením účastníků

Všichni účastníci (mladiství) měli písemný souhlas rodičů nebo zákonných zástupců s účastí ve studii.

## Poděkování

Autoři děkují vývojovému týmu Cognitive Function Scanner, který poskytl testovací software, a laboratoři Aristotelovy univerzity za podporu při vývoji VR aplikace a provádění biomechanických měření.

**ODKAZ NA KOMPLETNÍ STUDII V ANGLIČTINĚ: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/17/6680>**