ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ В ДОСЛІДЖЕННІ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ЮНИХ ГІМНАСТІВ

Канд. пед. наук, доцент ***О.М. Худолій,*** *ст. викладач* ***Т.В. Карпунець***

Харківський державний педагогічний університет ім. Г.С. Сковороди

Для побудови оптимальних моделей тренувального процесу мають важливе значення методи планування експерименту. А.Н. Лисенков (1979), Т.К. Максимов, А.Н. Сініцин (1983) указують, що математичне планування багатофакторних експериментів розширює можливості медико-біологічних досліджень завдяки їх ефективності в 2—10 р., усуненню специфічних неоднорідностей стану медико-біологічної системи і його систематичного дрейфу, обґрунтуванню необхідного обсягу спостережень і вибору оптимального плану повного опису поводження системи. А.Н. Лисенков (1979) відзначає, що найбільше поширення при аналізі медико-біологічних об'єктів знаходять методи інформаційного, кореляційного і регресійного аналізів, які використовуються відповідно для виявлення структури взаємозв'язків параметрів об'єкта й одержання кількісного рівняння зв'язку вихідних показників із вхідними. Використання методів, заснованих на обробці «пасивних» спостережень (наприклад, методів множинного регресійного аналізу) вимагає нагромадження досить великих масивів інформації, обробка яких вимагає застосування ЕОМ. При вивченні об'єктів, у яких існують багатофакторні взаємодії, класичний принцип експериментування, заснований на почерговому варіюванні факторів по одному, виявляється мало ефективним, тому що різко зростає обсяг і трудомісткість експерименту. Далі автор відзначає, що для нової методології характерні наступні особливості:

1. Використовується комплексний підхід до вивчення об'єктів, що припускає одночасне варіювання багатьох факторів з метою оцінки їхнього впливу і впливу взаємодій. Одночасне варіювання факторами за спеціальною програмою забезпечує вивчення впливу кожного з них у різних умовах, створюваних зміною інших факторів. Це дозволяє одержати більш надійні висновки, придатні для умов, що змінюються.

2. Результати дослідів представляють у виді математичної моделі — рівняння регресії, що зв'язує цільовий показник з факторами, які змінюються. Модель відбиває повну картину впливу кожного фактора і їхніх взаємодій; за допомогою її можна здійснювати спрямований пошук оптимальних режимів, а також висувати гіпотези про механізм явищ.

3. Одержувані моделі мають оптимальні статистичні властивості і забезпечують компактне представлення результатів у формі зручній для опублікування, збереження і т.д.

Плани факторного експерименту 2^K

План, що містить усілякі сполучення рівнів усіх факторів з

$$N = \prod_{i=1}^{k} P_i$$

називається планом повного факторного експерименту, а тільки частину цих сполучень дробовим планом (А.Н. Лисенков, 1979).

А.Н. Лисенков (1979) указує, що в цих планах кожний з *k* досліджуваних факторів варіює на двох рівнях і реалізуються всілякі комбінації цих рівнів. Аналіз результатів факторного експерименту передбачає оцінку основних ефектів і взаємодій факторів. При наявності трьох факторів (X_1, X_2, X_3) можна оцінити три основних ефекти (їх ще називають взаємодіями нульового порядку), три ефекти взаємодії першого порядку (X_1X_2, X_2X_3, X_1X_3), а також взаємодія другого порядку ($X_1X_2X_3$). Останнє можна інтерпретувати як різниця між ефектами взаємодії X_1X_2, обчисленими для кожного з двох рівнів фактора X_3. З ростом числа факторів число взаємодій вищих порядків буде рости.

З огляду на те, що $\sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 = N$ для кожного стовпця матриці плану 2^k загальна формула для визначення коефіцієнтів регресії буде:

$$b = \frac{\sum_{u=1}^{N} y_u x_u}{N}$$

де x_u значення фактора у відповідному стовпці плану ($x_u = \pm 1$); Y_u — результат u-го досліду; N — загальне число дослідів плану. Приведена формула є загальної для повного факторного експерименту (ПФЕ) типу 2^k з числом факторів k і числом дослідів $N = 2^k$. Для к факторів такий план представляє таблицю з $N = 2^k$ рядків і k стовпців. Чергування елементів (+1) і (-1) відбувається через один рядок у першому стовпці (X_1), потім через двох у другому (X_2), через чотири в третьому (X_3) і т.д. через ступінь двійки до к-го стовпця. Стовпці подвійних, потрійних і так далі взаємодій одержують у результаті перемножування стовпців факторів по два, по три і т.д. (табл. 1).

Рівняння для представлення результатів ПФЕ 2^k записують у такому виді:

$$\vec{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{i<} \sum_{j}^{k} b_{ij} x_i x_j + \ldots$$

Загальне число членів у такій моделі $l = 2^k$.

А.Н. Лисенков (1979) указує, що реалізація й аналіз результатів факторного експерименту здійснюється в кілька етапів, що включають проведення дослідів, перевірку відтворюваності (однорідності вибіркових дисперсій), одержання рівняння регресії, перевірку статистичної значимості його коефіцієнтів і перевірку адекватності рівняння. Кінцева мета аналізу — з'ясувати, які коефіцієнти регресії відрізняються від нуля і чи адекватно описує отримана модель експериментальні дані. Н. Джонсон, Ф. Ліон (1981) відзначають, що плани типу 2^k можливо застосовувати, як у випадку, коли покладається, що усі взаємодії дорівнюють нулю, так і у випадку, коли передбачається, що факти взаємозалежні.

Навчання і тренування юних гімнастів здійснюється в різних формах і різних засобах. Використання ПФЕ спрямовується на вивчення як впливу тренувальних навантажень так і визначення структури тренувальних завдань в процесі навчання і розвитку рухових здібностей.

Тренувальне навантаження це об'єкт, у якому існують багатофакторні взаємодії. Тому використання планів повного факторного експерименту (ПФЕ) типу 2^k розширює можливості досліджень завдяки підвищенню їхньої ефективності й одержання регресійних моделей, що зв'язують значення рівнів факторів навантаження і показників ефективності процесу в досліджуваній області факторного простору. Це рівняння дозволяє визначити без додаткової постановки дослідів значення Y для будь-яких точок (комбінацій рівнів факторів) усередині зазначеної області. У роботах Є.А. Земскова (1968), М.Л. Украна (1971) була виявлена висока кореляційна залежність обсягу ви-

Таблиця 1

Ефекти основних факторів і взаємодій у факторних експериментах типу 2^2 , 2^3, 2^4

Комбінація умов*		2^2				2^3				2^4							
		x_0	x_1	x_2	x_1x_2	x_3	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	x_4	x_1x_4	x_2x_4	$x_1x_2x_4$	x_3x_4	$x_1x_2x_3$	$x_2x_3x_4$	$x_1x_2x_3x_4$
1	(1)	+	—	—	+	—	+	+	—	—	+	+	—	+	—	—	+
2	x_1	+	+	—	—	—	—	+	+	—	—	+	+	+	+	—	—
3	x_2	+	—	+	—	—	+	—	+	—	+	—	+	+	—	+	—
4	x_1x_2	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+
5	x_3	+	—	—	+	+	—	—	+	—	+	+	—	—	+	+	—
6	x_1x_3	+	+	—	—	+	+	—	—	—	—	+	+	—	—	+	+
7	x_2x_3	+	—	+	—	+	—	+	—	—	+	—	+	—	+	—	+
8	$x_1x_2x_3$	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
9	x_4	+	—	—	+	—	+	+	—	+	—	—	+	—	+	+	—
10	x_1x_4	+	+	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—	+	+
11	x_2x_4	+	—	+	—	—	+	—	+	+	—	+	—	—	+	—	+
12	$x_1x_2x_4$	+	+	+	+	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—
13	x_3x_4	+	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—	+
14	$x_1x_2x_3$	+	+	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—
15	$x_2x_3x_4$	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—
16	$x_1x_2x_3x_4$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

У такій компактній формі запису (1) означає, що усі фактори знаходяться на рівнях -1, x_1 — відповідає досліду, у якому на рівні +1 тільки цей фактор і т.д.

конання елементів від загального часу роботи, «чистого часу», кількості підходів. План ПФЕ 2^k дає можливість цілком виключити вплив показників навантаження один на одного (r = 0) і зосередити основну увагу на впливі цих показників і їхніх взаємодій на зміну функціонального стану організму, ефективності навчання, фізичної і спеціальної рухової підготовленості юних гімнастів. Це дає можливість виявити вплив окремих факторів і їхніх взаємодій на показники ефективності процесу підготовки юних гімнастів і вказує на необхідність вивчення визначеної області зміни ознак. І що найбільше важливо результати ПФЕ 2^K дозволяють здійснити чисельне рішення таких завдань, де до цього використовувалися чисто умоглядні висновки.

Мета дослідження — визначити ефективність використання планів факторного експерименту у вивченні тренувальних навантажень і структури рухової підготовленості юних гімнастів.

В дослідженні прийняли участь юні гімнасти і гімнастки 7—10 років.

Методика дослідження. Розглянемо алгоритм проведення й аналізу результатів експерименту типу 2^3 для вивчення впливу тренувальних навантажень на зміну функціонального стану юних гімнастів 8—10 років.

1. Скласти план повного факторного експерименту 23 у натуральних перемінним.

Структура плану 2^3 для трьох факторів. Вивчається вплив обсягу навантаження в елементах (X_1), загального часу роботи (X_2), інтервалу відпочинку (X_3) на зміну частоти серцевих скорочень, показників керування рухами, ритму серцевих скорочень, латентного часу рухової реакції, рівня навченості вправам. Як нижній рівень фактора X_1 обрано в акробатичних вправах 80 ел., у якості верхнього — 160 ел.; для фактора X_2 — 25 хв. і 40 хв.; для фактора X_3 — 20 сек. і 40 сек. Нижній і верхній рівень, досліджуваних факторів, визначений на основі регресійного аналізу й емпіричних даних (О.М. Худолій, 1980, 1981, 1983; О.М. Худолій, А.М. Шлемін, 1981; О.М. Худолій, Л.І. Шевцова, 1982; О.М. Худолій, В.Х. Фоменко, 1983).

Для полегшення наступних розрахунків зроблене перетворення рівнів факторів (так називане кодування) до безрозмірних кодованих x_i за формулою:

$$x_i = \frac{X_i - X_{io}}{v_i}$$

де, X_i — значення факторів у натуральних перемінним; X_{i0} — значення факторів на так називаному основному рівні, що представляє середнє арифметичне між обраними верхнім і нижнім рівнями; v_i— крок варіювання; x_i — значення кодованих перемінних.

У розглянутому прикладі значення основних рівнів:

$$x_{10} = \frac{80+160}{2} = 120$$

$$x_{20} = \frac{25+40}{2} = 32,5$$

$$x_{30} = \frac{20+40}{2} = 30$$

кроків варіювання:

$$v_1 = \frac{160-80}{2} = 40$$

$$v_2 = \frac{40-25}{2} = 7,5$$

$$v_3 = \frac{40-20}{2} = 10$$

Легко переконатися, що значення кодованих перемінних будуть (+1) і (-1):

$$x_1^+ = \frac{160-120}{40} = +1$$

$$x_2^+ = \frac{40-32,5}{7,5} = +1$$

$$x_3^+ = \frac{40-30}{10} = +1$$

$$x_1^- = \frac{80-120}{40} = -1$$

$$x_1^- = \frac{25-32,5}{7,5} = -1$$

$$x_1^- = \frac{20-30}{10} = -1$$

Умови дослідів для кодованих значень факторів можна записати у виді таблиці 2. Таку таблицю називають матрицею плану факторного експерименту 2^3.

Таблиця 2

Матриця плану факторного експерименту 2^k

Номер досліду	Акробатичні вправи			Помилка в часовій точності руху після роботи з заданим режимом			
	X_1 (кількість елементів)	X_2 (загальний час роботи, хв.)	X_3 (час відпочинку, сек)	1	2	3	4
1	80	25	20	0,5	0,5	0,1	0,3
2	160	25	20	0,4	0,4	0,2	0,2
3	80	40	20	0,2	0,2	0,2	0,2
4	160	40	20	0,4	0,2	0,6	0,4
5	80	25	40	0,2	0,2	0,2	0,2
6	160	25	40	0,3	0,1	0,1	0,1
7	80	40	40	0,4	0,4	0,3	0,1
8	160	40	40	0,4	0,1	0,1	0,2

2. Провести експеримент, дані експерименту занести в таблиці 3 і 4.

3. Визначити однорідність дисперсій. Однорідність дисперсій визначається за допомогою критерія Кокрена за формулою:

$$G_p = \frac{S_u^2 max}{\sum_{i=1}^{8} S_u^2}, \quad G_p = \frac{0,0366}{0,1265} = 0,289$$

$G_{0.05(3.8)} = 0,438$

Так як $G_p < G_{0,05(3.8)}$, то дисперсії однорідні.

Див. стовпець $S_u^2 = \dfrac{\sum\left(Y - \overline{Y}_u\right)^2}{4-1}$

Н. Джонсон, Ф. Ліон (1981) указують, що спрощений метод, розроблений Франком Йетсом (1970), являє собою механічний спосіб одержання повних ефектів кожного фактора (і їхніх взаємодій) в експерименті типу 2^k. У стовпці (1) таблиці 5 приведені результати для комбінацій умов, записаних у попередньому стовпці. Такий порядок проходження комбінацій зберігається завжди. Дані стовпця (2) одержують шляхом попарного додавання першої половини стовпця (1) і попарного вирахування результатів другої половини стовпця (1).

Наприклад

0,65 = 0,35 + 0,3;

0,6 = 0,2 + 0,4;

Таблиця 3

План типу 2^3 у завданні дослідження впливу обсягу (X_1), загального часу роботи (X_3) і часу відпочинку (X_3) в акробатичних вправах на зміну часової точності руху

Фактори	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	$\overline{Y}$	$S_u^2 = \frac{\sum(Y - \overline{Y}_u)^2}{4-1}$	$\widehat{Y}$	$(\overline{Y}_u - \widehat{Y}_u)^2$	Коефіцієнти регресії
Рівні фактора												
0	120	32,5	30									
-1	80	25	20									
+1	160	40	40									
Досліди:	x_1	x_2	x_3									
1	-	-	-	0,5	0,5	0,1	0,3	0,35	0,0366	0,275	0,005625	0,2625
2	+	-	-	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,0133	0,35	0,0025	0
3	-	+	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0,275	0,005625	0,0125
4	+	+	-	0,4	0,2	0,6	0,4	0,4	0,0266	0,35	0,0025	0,0125
5	-	-	+	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0,25	0,0025	−0,05
6	+	-	+	0,3	0,1	0,1	0,1	0,15	0,01	0,175	0,000625	−0,0375
7	-	+	+	0,4	0,4	0,3	0,1	0,3	0,02	0,25	0,0025	0,025
8	+	+	+	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,02	0,175	0,000625	−0,025
									$\sum S_u^2$ = 0,1265	$\sum(\overline{Y}_u - \widehat{Y}_u)^2$=0,02244		
									S_0^2 = 0,0158			

4. Розрахувати коефіцієнти регресії, середній ефект і суму квадратів за допомогою алгоритму Йетса.

Таблиця 4

Алгоритм Йетса для розрахунку коефіцієнтів регресії

Комбінація умов	(1)	(2)	(3)	(4)	Ефект	b (5)	Середній ефект (6)	Сума квадратів $(4)^2/8$ (7)
1	0,35	0,65	1,25	2,1	1	0,2625		
x_1	0,3	0,6	0,85	0	X_1	0	0	0
x_2	0,2	0,35	0,15	0,1	X_2	0,0125	0,025	0,00125
x_1x_2	0,4	0,5	-0,15	0,1	X_1X_2	0,0125	0,025	0,00125
x_3	0,2	-0,05	-0,05	-0,4	X_3	-0,05	-0,1	0,02
x_1x_3	0,15	0,2	0,15	-0,3	X_1X_3	-0,0375	-0,075	0,01125
x_2x_3	0,3	-0,05	0,15	0,2	X_2X_3	0,025	0,05	0,005
$x_1x_2x_3$	0,2	-0,1	-0,05	-0,2	$X_1X_2X_3$	-0,025	-0,05	0,005

0,35 = 0,2 + 0,15;

0,5 = 0,3 + 0,2;

−0,05 = 0,3 − 0,35;

0,2 = 0,4 − 0,2 і т.д.

Різниці завжди беруться в такому порядку: друге значення мінус перше, четверте значення мінус третє і т.д.

Дані стовпця (3) знаходяться зі стовпця (2) так само, як дані стовпця (2) зі стовпця (1). Таким же способом з даних стовпця (3) знаходиться стовпець (4). Цей процес виконується три рази. Для експерименту типу 2^k існує k, етапів такого роду. Стовпець (4) містить повний ефект фактора (чи взаємодії), позначення якого записано на початку рядка. Щоб одержати середній ефект, ділемо стовпець (4) на 4, тобто на число різниць у кожнім повному ефекті. Нарешті, у стовпці (7) приведена сума квадратів для кожного фактора експерименту. Суму квадратів, записану в стовпці (7), можна розглядати так само, як лінійне порівняння (у даному прикладі їх сім) з одним ступенем волі. А.Н. Лисенков (1979) указує, що елементи (4) стовпця ділять на загальне число дослідів плану й одержують шукані значення коефіцієнтів регресії. При цьому результат, що відповідає рядку (1) плану, дає значення b_0, результат другого рядка x_1 — дає b_1 і т.д.

5. Визначити значимість коефіцієнтів регресії за допомогою критерії Стьюдента. Для цього визначити дисперсію коефіцієнтів регресії:

$$S\{b\}^2 = \frac{S_0^2}{N \cdot n} = \frac{0,0158}{8 \cdot 4} = 0,00046875$$

N — кількість дослідів за планом, n — кількість повторів в експерименті.

Далі визначимо порогові значення коефіцієнта регресії:

$$t = \frac{|b|}{S\{b\}}$$

$$\triangle b = t \cdot S\{b\} = 1,693 \cdot 0,0216 = 0,0366$$

на думку А.Н. Лисенкова (1979) значимими коефіцієнтами рівняння регресії можуть вважатися ті для яких

$$|b| > \triangle b$$

Рівняння регресії, яке враховує тільки значимі коефіцієнти має вид:

$\hat{Y} = 0,2625 - 0,05x_3 - 0,0375x_1x_3$

Незначимість коефіцієнта регресії може бути обумовлена наступними причинами:

1) рівень основного режиму ***x*,** близький до точки часткового екстремума по фактору x_i;

2) обраний крок варіювання занадто малий, щоб виявити шуканий ефект на тлі великої помилки експерименту, обумовленої некерованими факторами;

3) фактор не впливає на вихідний параметр.

Для з'ясування ситуацій можуть бути прийняті наступні рішення: розширити інтервали варіювання за незначущими факторами і поставити нову серію дослідів, збільшити число повторів дослідів (А.Н. Лисенков, 1979).

6. Розрахувати значення відгуку, передвіщеного за рівнянням в точках плану (див. стовпець $\hat{Y}$):

$\hat{Y} = 0,2625 - 0,05(-1) - 0,0375(-1)(-1) = 0,275$

7. Визначити дисперсію відтворюваності за формулою:

$$S_0^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} S_u^2}{N} = \frac{0,1265}{8} = 0,0158$$

8. Розрахувати значення стовпця

$$\left(\overline{Y}_u - \hat{Y}_u\right)^2$$

9. Визначити дисперсію неадекватності за формулою:

$$S_r^2 = \frac{SS_r}{f_r} = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(\overline{Y}_u - \hat{Y}_u\right)^2}{N - l} = \frac{0,02244}{8-3} = 0,004488$$

де N — кількість дослідів плану, l — кількість коефіцієнтів регресії.

10. Визначити розрахункове значення F-відношення за формулою:

$$F = \frac{S_r^2}{S_0^2} \cdot n = \frac{0,004488 \cdot 4}{0,0158} = 1,136$$

Порівняти отримані значення F-відношення з критичним F_k з числом ступеней свободи $f_r = N - l$, $f_0 = N(n-1)$.

$$F_{0,05\,(2.24)} = 2,6207$$

Таблиця 5

Результати дисперсійного аналізу для визначення впливу обсягу (X_1), загального часу роботи (X_2) і часу відпочинку (X_3) в акробатичних вправах на часову точність руху в юних гімнастів

Джерело зміни	Сума квадратів	Число ступеней свободи	Середній квадрат	Відношення квадратів	Відношення квадратів в % до суми квадратів
X_3	0,02	1	0,02	8 P<0,05	45,7
X_1X_3	0,01125	1	0,01125	4,5 P<0,01	25,7
Залишок:					
X_1	0	5	0,0025		
X_2	0,00125				2,8
X_1X_2	0,00125				2,8
X_1X_3	0,005				11,4
$X_1X_2X_3$	0,005				11,4
Сума	0,04375				
$F_{1;5;0,9}$=4,06, $F_{1;5;0,95}$=6,677, $F_{1;5;0,975}$=10,07					

Якщо $F_p < F_k$, то рівняння адекватно описує результати експеримента. В нашому прикладі F_k=2,6207, $F_p < F_k$, виходячи з цього отримане рівняння адекватно описує дані експеримента.

Підставляючи в рівняння значення

$$x_i = \frac{X_i - X_{io}}{v_i}$$

легко отримати модель $Y = f(X_1, X_2, X_3)$ для натуральних перемінних X_1, X_2, X_3.

Рівняння дає наочне представлення про кількісний вплив кожного фактора і їхніх взаємодій на зміну часової точності руху у юних гімнастів і вказує на можливість керування функціональним станом нервово-м'язової системи за рахунок зміни факторів, що входять у рівняння з найбільшими коефіцієнтами. Дані таблиці 4 дозволяють зробити висновок, що тренувальне навантаження це цілісний об'єкт із багатофакторними взаємодіями.

Суму квадратів, записану в стовпці (7), можна розглядати так само, як лінійне порівняння (у даному прикладі їх сім) з одним ступенем волі (таблиця 4). У таблиці 5 представлені результати дисперсійного аналізу за даними повного факторного експерименту 2^3.

Для цього необхідно:

1. Занести в таблицю 5 суму квадратів (див. таблицю 5) кожного ефекту. Залишок складають суми квадратів ефектів коефіцієнти регресії, що мають, рівні нулю (тобто $|b| < \Delta b$).

2. Розрахувати середній квадрат.

3. Розрахувати відношення квадратів. Отримані результати порівняти з F-критерієм.

4. Розрахувати внесок суми квадратів ефектів у загальну суму квадратів.

Результати дисперсійного аналізу свідчать про достатню значимість часу відпочинку між підходами на зміну часової точності руху. Виділення взаємодії факторів X_1X_3 свідчить, про те, що навантаження цілісний об'єкт, але у визначених межах варіювання факторів X_1, X_2, X_3 кожний з них впливає на сторони рухової підготовленості юних гімнастів.

Розглянемо можливість використання ПФЕ типу 2^2 для вивчення впливу різноманітних варіантів побудови навчально-тренувального процесу на навчання гімнастичним вправам юних гімнасток.

Структура плану 2^2 для двох факторів. Вивчається вплив фізичної підготовки (X_1), спеціально-рухової підготовки (X_2), на рівень навченості досліджуваних вправ. Як нижній рівень фактора X_1, на основі науково-методичної літератури і практичного досвіду тренерів-викладачів, обраний варіант у якому на фізичну підготовку час не приділявся, як верхній рівень на основі даних А.М.Шлеміна (1973) обраний варіант, де на фізичну підготовку приділялося 30—40 % часу (36 хв). Як нижній рівень другого фактора (X_2) обраний варіант у який на спеціально-рухову підготовку не приділялося. Як верхній рівень X_2 обраний варіант при якому на спеціально-рухову підготовку приділялося 30 % часу (27 хв).

Виконаємо поточні розрахунки у відповідності до пунктів 2—9 і занесемо дані в табл. 6—9.

Аналіз результатів дослідження показує, що у юних гімнасток 6—7 років на ефективність навчання впливає співвідношення засобів фізичної і спеціально-рухової підготовки. Так, на навчання підйому переворотом поштовхом лівої і махом правої на 22,3 % впливає спеціально-рухова підготовка (X_2) і на 73,4 % — взаємодія спеціальної фізичної і спеціально-рухової підготовки (X_1X_2). Навчання стійці на руках—кувирку вперед також залежить від спеціально-рухової підготовки (43,9 %) і взаємодії фізичної і спеціально-рухової підготовки (49,3%). На навчання перевороту в сторону визначальний вплив виявляє взаємодія чинників (X_1X_2). Коефіцієнти регресії при X_1X_2 свідчать, що збільшення часу на спеціальну фізичну і спеціально-рухову підготовки призводить до збільшення швидкості навчання перерахованим рухам (таблиці 6, 7).

Таблиця 6

Регресивна залежність результатів навчання від співвідношення засобів фізичної (X_1) і спеціально-рухової (X_2) підготовки у гімнасток 6—7 років

[illegible]	[illegible]	[illegible]
1	[illegible]	$Y = 68,8 - 1,4 \times X_1 + 3,2 \times X_2 - 5,8 \times X_1 \times X_2$
2	[illegible]	$Y = 20,6 - 0,7 \times X_1 - 1,7 \times X_2 + 1,8 \times X_1 \times X_2$
3	[illegible]	$Y = 76,1 - 3,6 \times X_1 - 9,2 \times X_2 - 7,2 \times X_1 \times X_2$

Таблиця 7

Результати дисперсійного аналізу для експерименту, що вивчає вплив співвідношення засобів тренування на навчання рухам юних гімнасток 6—7 років

[illegible]	[illegible]	[illegible] Mq/Sq		
		X_1 [illegible]	X_2 [illegible]	$X_1 \times X_2$ [illegible]
1	[illegible]	4,3%	22,3%	73,4%
2	[illegible]	6,8%	43,9%	49,3%
3	[illegible]	1,6%	10,1%	88,3%

У юних гімнасток 7—8 років на навчання повільному перевороту назад, рондату істотно впливає взаємодія чинників X_1X_2 (на 69,7% і 86,2% відповідно, $p < 0{,}05$). Навчання підйому переворотом силою залежить від фізичної і спеціально-рухової підготовки на 48,2%. На навчання обороту назад в упорі впливає перший чинник (X_1) на 60,5% і другий — 29%. Навчання темповому перевороту назад і вперед в більшій мірі залежить від часу, відведеного на спеціально-рухову підготовку. Звертає увагу той факт, що зростання часу на фізичну і спеціально-рухову підготовку призводить до зниження швидкості навчання. Про це свідчать коефіцієнти при X_1, X_2, і X_1X_2 (таблиці 8, 9).

Таблиця 8

Регресивна залежність результатів навчання від співвідношення засобів фізичної (X_1) і спеціально-рухової (X_2) підготовки у гімнасток 7—8 років

[illegible]	[illegible]	[illegible]
1	[illegible]	$Y=82-5{,}5\times X_1-5{,}5\times\square_2-1{,}5\times\square_1\times\square_2$
2	[illegible]	$Y=5{,}5-6{,}5\times\square_1-4{,}5\times\square_2+2{,}7\times\square_1\times\square_2$
3	[illegible]	$Y=0{,}91-0{,}04\times\square_1+0{,}04\times\square_2+0{,}04\times\square_1\times\square_2$
4	[illegible]	$Y=0{,}6+0{,}05\times\square_1+0{,}13\times\square_2-0{,}03\times\square_1\times\square_2$
5	[illegible]	$Y=17{,}8-1{,}75\times X_1-0{,}75\times X_2+4{,}75\times X_1\times X2$
6	[illegible]	$Y=45{,}0-3{,}75\times X_1-18{,}75\times X_2+2{,}5\times X_1\times X_2$

Таблиця 9

Результати дисперсійного аналізу для експерименту, що вивчає вплив співвідношення засобів тренування на навчання рухам юних гімнасток 7—8 років

[illegible]	[illegible]	[illegible] Mq/Sq		
		$\square_1$ [illegible]	$\square_2$ [illegible]	$\square_1\times\square_2$ [illegible]
1	[illegible]	48,2%	48,2%	3,6%
2	[illegible]	60,5%	29%	10,4%
3	[illegible]	15,2%	15,2%	69,7%
4	[illegible]	25,7%	71,4%	2,9%
5	[illegible]	11,7%	2,1%	86,2%
6	[illegible]	38%	94,5%	1,7%

Аналіз рівнянь регресії, наведених в таблицях 6, 8 і обчислювальний експеримент дозволили визначити оптимальні співвідношення засобів тренування в період навчання рухам юних гімнасток. Звертає увагу той факт, що по мірі ускладнення вправ збільшується час, відведений на фізичну і спеціально-рухову підготовки, однак ці показники не досягають максимальних величин, прийнятих в експерименті. При цьому співвідношення часу, відведеного на фізичну і спеціально-рухову підготовки по відношенню до технічної підготовки, коливається як 1:3 (ФП:ТП, СРП:ТП).

Проведений педагогічний експеримент підтверджує, що для досягнення максимального результату в навчанні, необхідно відводити час на фізичну і спеціально-рухову підготовки в відношенні 1:3 до технічної підготовки.

В результаті дослідження встановлено, що структурний підхід до побудови учбово-тренувального процесу збільшує ефективність процесу навчання. Так, коефіцієнти регресії при X_1X_2 свідчать, що збільшення часу на спеціальну фізичну і спеціально-рухову підготовки призводить до збільшення швидкості навчання рухам. Проте у процесі дворічної підготовки відзначається також і встановлення співвідношень між видами підготовки (технічної, фізичної, спеціально-рухової). Так, у юних гімнасток 7—8 років спостерігається той факт, що збільшення часу на фізичну і спеціально-рухову підготовки призводить до зниження швидкості навчання.

Визначено, що для досягнення максимального результату в навчанні на спеціальну фізичну і рухову підготовки варто виділяти 16 % часу, а на технічну — 53 %. Отримані результати доповнюють дані А.М. Шлеміна, П.К. Петрова (1977) про співвідношення засобів на попередньому етапі підготовки в гімнастиці.

Висновки

1. Застосування ПФЕ типу 2^3 дає змогу вивчити багатофакторну структуру тренувального навантаження у юних гімнастів.
2. Плани факторних експериментів типу 2^2 дозволяють уточнити співвідношення засобів підготовки в період навчання і розвитку рухових здібностей юних гімнасток 6—8 років. Вони є об'єктивним інструментом оптимізації навчально-тренувального процесу.

Література

1. *Ермаков С.М., Жиглявский А.А.* Математическая теория оптимального эксперимента. — М.: Наука, 1987. — 320 с.
2. *Лисенков А.Н.* Математические методы планирования многофакторных медико-биологических экспериментов. — М.: Медицина, 1979. — 343 с.
3. *Налимов В.В., Чернова Н.А.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. — М.: Наука, 1965. — 340 с.