

УДК 796.412.2:612.76

БІОМЕХАНІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОНАННЯ ПЕРЕКАТІВ ОБРУЧА В ХУДОЖНІЙ ГІМНАСТИЦІ

Регіна АНДРЕЄВА

Херсонський державний університет

Анотація. У статті проведено біомеханічний аналіз виконання переكاتів обруча в художній гімнастиці. Розроблено практичне завдання та розраховані відповідні числові значення кутової швидкості обруча під час виконання зворотного кату, що дає змогу на їх основі підвищити технічну підготовленість юних гімнасток у вправах з обручем.

Ключові слова: вправи з обручем, переكاتи обруча, біомеханічний аналіз, поступальний та обертальний рух, кутова швидкість.

Постановка проблеми. Сучасна система спорту вищих досягнень вимагає інтенсифікації тренувального процесу з ранніх років спеціалізації. Ефективність змагальної діяльності на сучасному етапі розвитку світової художньої гімнастики визначається не тільки рівнем спеціальної фізичної підготовленості, але значною мірою й раціональним використанням технічного потенціалу в умовах гострої спортивної боротьби [2].

Однією з актуальних проблем теорії та практики спортивного тренування є підвищення ефективності виконання спортивних вправ [1, 3]. Це можливо лише при проведенні систематичних досліджень для виявлення характеристик рухової діяльності спортсменів та умов, що забезпечують стабільність їх виконання [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вагоме місце для прогресування в техніко-естетичних видах спорту займає певний рівень розвитку показників технічної підготовленості. У деяких роботах розглядалися питання біомеханічного обґрунтування вправ без предмета в художній гімнастиці [4, 7]. Низка наукових робіт сточується визначенню біомеханічних механізмів руху, базисної динамічної структури вправ з предметами, зокрема з м'ячем [6, 8]. Однак на сьогодні в сучасній науково-методичній та спеціальній літературі відсутні дані стосовно біомеханічного аналізу технічних елементів з обручем. Саме це спонукало нас до проведення дослідження в цьому напрямку.

Мета нашого дослідження – визначити особливості виконання переكاتів обруча в художній гімнастиці.

Методи та організація дослідження. Для вирішення мети дослідження використовувалися такі методи: теоретичний аналіз наукової, методичної та спеціальної літератури, біомеханічний аналіз, методи математичної статистики.

Перший етап дослідження був спрямований на окреслення біомеханічних особливостей виконання переكاتів з обручем у художній гімнастиці і проводився впродовж січня–травня 2012 року. Другий етап дослідження проводився для практичної реалізації переكاتів з обручем та математичного розрахунку кінематичних показників під час їх виконання і тривав з вересня по листопад 2012 року.

Результати дослідження. Підвищення технічної підготовленості юних гімнасток у вправах з обручем базується на біомеханічному обґрунтуванні особливостей їх виконання.

Кочення – це плоскопаралельний рух обруча, за якого його центр переміщується поступально по горизонтальній прямій, а всі інші точки беруть участь в обертальному русі відносно центральної нормальної осі.

Динаміка кочення обруча складається з двох фаз. У першій фазі на обруч діє сила тяжіння, сила тертя ковзання та сила реакції поверхні. Сила тертя ковзання прикладається до найнижчої точки обруча, яка в початковий момент рухається (ковзає) по поверхні і спрямовується проти напрямку руху.

У другій фазі руху в момент $t = T$ точка обруча, що торкається опори, матиме швидкість, що дорівнює нулю. Якщо швидкість точки дотику буде мати значення, що не дорівнює

нулю, то тертя ковзання через час T приведе цю швидкість до нуля. Тому друга фаза – це фаза встановленого руху, кочення без просковзування.

Водночас на обруч діють: \vec{N} – сила нормальної реакції, $m\vec{g}$ – сила тяжіння, $\vec{F}_{\text{тер коч}}$ – сила тертя кочення, $\vec{F}_{\text{тер сп}}$ – сила тертя спокою. Ці сили прикладені до нерухокої точки дотику обруча з опорою й дорівнюють $\vec{F}_{\text{тер коч}} = \frac{MN}{R}$, $\vec{F}_{\text{тер сп}} = \vec{F}_{\text{тер коч}}$. Рух кочення буде рівномірним, оскільки під час кочення всі сили дорівнюють нулю.

Миттєве значення швидкості залежить не лише від швидкості поступального (\vec{V}) та обертального (\vec{V}_A) руху, але й від кута α між ними (рис. 1). Оскільки обручеві обертається навколо миттєвої осі, що проходить перпендикулярно обручу через B , то точка D обруча має лінійну швидкість обертання відносно B , що дорівнює:

$$u = \omega \cdot BD = \omega \cdot 2R \cos \alpha = 2\omega R \cos \alpha = 2V \cos \alpha$$

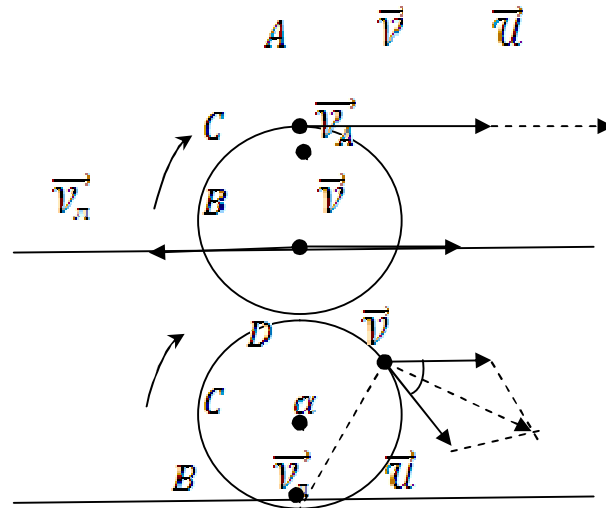


Рис. 1. Результуючі швидкості точок обруча під час кочення

Точки обруча під час кочення рухаються по циклоїді, графік якої зображений на рис. 2.

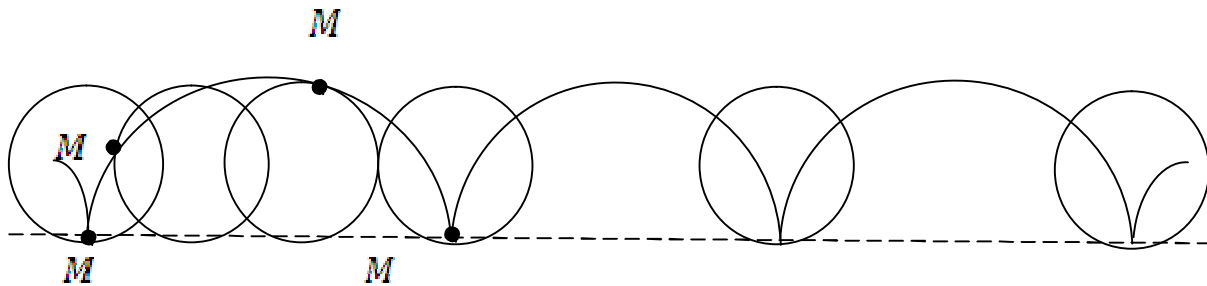


Рис. 2. Графік циклоїди – траєкторії руху точки M обруча

Для виявлення умов стійкості руху обруча використовують теорію дзиги. Якщо знехтувати тертям, то кочення обруча є стійким рухом за умови:

$$\omega_{\text{ст}} > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{R}}, \quad \omega_{\text{ст}} > \frac{R}{2} \sqrt{\frac{g}{R}} \tag{1.1}$$

За таких умов при малих випадкових відхиленнях від вертикального положення здій-

снюються гармонійні коливання з частотою $\frac{2}{3} \sqrt{4W^2 - \frac{g}{R}}$. Якщо ж швидкість менша за $W_{ст}$, то обруч упаде.

Одночасно з гармонійним коливанням (відхиленням від вертикалі) то в один, то в інший бік під час кочення обруча відбуваються малі повороти вправо та вліво з тим самим періодом (нутації). При швидкому русі вони непомітні, однак нутації є суттєво необхідними для стійкого руху.

Для характеристики виконання переكاتів з обручем ми розробили завдання та провели його біомеханічний аналіз. Гімнастка, виконуючи переكات обруча, надає йому горизонтальну швидкість 10 м/с та підкручує. Відстань від гімнастки до стіни 3 м. Необхідно визначити таке:

- а) час, за який обруч дістанеться до стіни, та його кутову швидкість наприкінці руху, якщо гімнастка підкручує обруч у напрямку руху;
- б) кутову швидкість, з якою треба підкрутити обруч у зворотному напрямку, щоб здійснити зворотний кат;
- в) початкову швидкість поступального руху, яку необхідно надати обручу, щоб (під час зворотного руху обруча) він віддалився до стіни і повернувся назад.

При цьому діаметр обруча дорівнює 60 см. Коефіцієнт тертя ковзання прийняти рівним 0,3.

Розглянемо сили, що діють на обруч (рис.3).

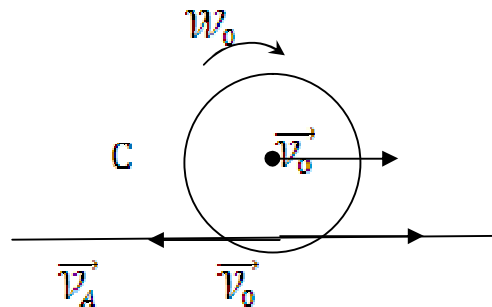


Рис. 3. Рух обруча (без просковзування) під час виконання переكاتу

Для встановленого руху обруча (без просковзування), без урахування сили тертя кочення, це сила тяжіння $m\vec{g}$ і сила нормальної реакції \vec{N} . Оскільки під час кочення всі сили дорівнюють нулю, то рух можна вважати рівномірним за швидкістю поступального руху центра мас C , v_0 та обертального руху відносно осі, яка перпендикулярна обручу і проходить через центр мас, W_0 . Оскільки час переходу з невстановленого руху у встановлений малий, то вважатимемо, що швидкості W_0 і v_0 зберігаються від початку до кінця руху.

Ураховуючи рис. 3 та умови нерухомості найнижчої точки обруча, маємо:

$$v_A - v_0 = 0, \tag{1.2}$$

де v_A – лінійна швидкість обертання найнижчої точки обруча навколо центра мас C : $v_A = W_0 R$.

Тому

$$\begin{aligned} W_0 R - v_0 &= 0 \\ v_0 &= W_0 R \\ W_0 &= \frac{v_0}{R}. \end{aligned} \tag{1.3}$$

Оскільки дальність руху дорівнює l , то:

$$l = v_0 t \quad (1.4)$$

$$t = \frac{l}{v_0}$$

Припустимо, що підкручування здійснено проти напрямку обертального руху (рис. 4).

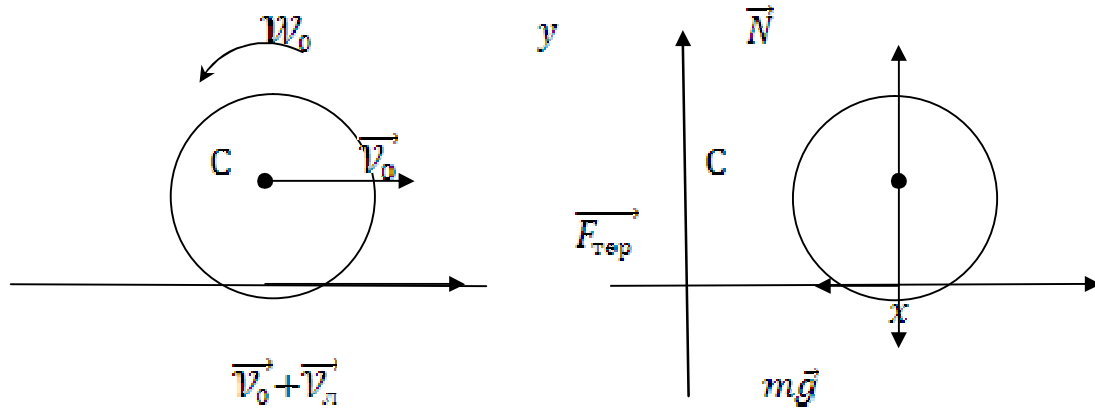


Рис. 4. Рух обруча (з проковзуванням) під час виконання зворотного кату

Виявлено, що найнижча точка обруча не є нерухомою – внаслідок додавання швидкостей поступального та обертального руху, її швидкість дорівнює $\vec{v}_0 + \vec{v}_{\text{л}}$. Тому на обруч діє значна (порівняно з попереднім випадком) сила тертя ковзання.

За законом про рух центра мас:

$$\vec{F}_{\text{тер}} + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a} \quad (1.5)$$

У проекціях на осі Ox та Oy :

$$\begin{cases} N - mg = 0 \\ -F_{\text{тер}} = -am \end{cases} \quad (1.6)$$

$$\begin{cases} N = mg \\ F_{\text{тер}} = ma \end{cases}$$

Оскільки $F_{\text{тер}} = \mu \cdot N$, то $F_{\text{тер}} = \mu mg$, тому

$$\mu mg = ma \quad (1.7)$$

$$a = \mu g$$

Отже, рух центра мас C буде відбуватиметься уздовж осі Ox рівноспівільнено з прискоренням $a = \mu g$.

Для визначення кутової швидкості використаємо теорему про зміну кінетичної енергії [5].

$$E_{\text{кін}_1} - E_{\text{кін}_2} = A, \quad (1.8)$$

де $E_{\text{кін}_1}$, $E_{\text{кін}_2}$ – кінетичні енергії тіла під час плоского руху (для початкового моменту і зупинки перед поверненням), A – робота всіх зовнішніх сил.

Кінетична енергія під час плоскому русі визначається за формулою [5]:

$$E_{\text{кін}} = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{J_c \omega^2}{2} \quad (1.9)$$

Тоді

$$E_{\text{кін}_1} = \frac{mv_0^2}{2} + \frac{J_c \omega_0^2}{2} \quad (1.10)$$

$$E_{\text{кін}_2} = 0 + \frac{J\omega^2}{2}$$

де ω – кутова швидкість при зупинці поступального руху.

Над обручем виконує роботу лише сила тертя, отже:

$$A = F_{\text{тер}} \cdot l = \mu mg \cdot l \quad (1.11)$$

де l – дальність, яка для випадку рівносповільненого руху із зупинкою наприкінці визначається за формулою [5]:

$$l = \frac{v_0^2}{2a} \quad (1.12)$$

З урахуванням виразів для $E_{\text{кін}_1}$, $E_{\text{кін}_2}$ та A теорема про кінетичну енергію:

$$\frac{mv_0^2}{2} + \frac{J_c \omega_0^2}{2} - \frac{J\omega^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$\omega_0^2 = \omega^2 \quad (1.13)$$

$$\omega = \omega_0$$

Отже, кутова швидкість під час перекаату залишається сталою і визначається початковою кутовою швидкістю ω_0 :

$$\omega_0 = \frac{v_0}{R} \quad (1.14)$$

Оскільки рух до стіни є рівносповільненим з кінцевою швидкістю 0, то дальність руху та початкова швидкість пов'язані співвідношеннями:

$$l = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2\mu g} \quad (1.15)$$

Звідси:

$$v_0 = \sqrt{2\mu gl} \quad (1.16)$$

Знайдемо чисельні значення шуканих величин:

а) $t_1 = \frac{l}{v_0} = \frac{3}{10} = 0,3 \text{ с}$

$$\omega_1 = \omega_0 = \frac{v_0}{R}$$

$$R = \frac{d}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$$

$$\omega_1 = \frac{10}{0,3} = 33,3 \frac{1}{\text{с}}$$

б) $\omega_2 = \frac{\omega_0}{R} = \frac{10}{0,3} = 33,3 \frac{1}{\text{с}}$

в) $v_{0_2} = \sqrt{2\mu gl} = \sqrt{2 \cdot 0,3 \cdot 9,8 \cdot 3} = 7,07 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Отже, час поступального руху центра мас обруча на задану відстань l з початковою швидкістю v_0 можна знайти за формулою: $t = \frac{l}{v_0}$. Для $l = 3 \text{ м}$, $v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $t = 0,3 \text{ с}$.

Кутова швидкість, незалежно від напрямку підкручення (обертання), залишається ста-

лою і визначається з початкової швидкості поступального руху за формулою $W = \frac{v_0}{R}$.

З'ясовано, що $W_1 = W_2 = 33,3 \frac{1}{c}$.

Початкова швидкість поступального руху визначає дальність руху при зворотному підкручуванні: $v_0 = \sqrt{2\mu g l}$. Для $l = 3 \text{ м}$ $v_{0_2} = 7,07 \frac{m}{c}$.

Висновок. Дослідження динаміки та кінематики кочення обруча виявило, що в першій фазі кочення центр мас здійснює прямолінійний рівносповільнений рух. Другою фазою встановленого руху обруча є кочення без просковзування. Визначено, що в цій фазі всі сили дорівнюватимуть нулю, тому рух буде рівномірним.

Розв'язання задач, сформульованих на основі базових вправ з обручем, показало, що під час виконання перекаату та зворотного кату час, за який обруч прокотиться на відстань 3 м, дорівнює 0,3 с (при початковій швидкості $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$); кутова швидкість залишається сталою, незалежно від способу підкручення обруча; початкова швидкість поступального руху обруча під час виконання зворотного кату дорівнює $7,07 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (для відстані 3 м).

Перспективи подальших пошуків у цьому напрямку полягають у застосуванні в навчально-тренувальному процесі юних гімнасток-художниць відповідних інструментальних методів підвищення та контролю їх технічної підготовленості, розроблених з урахуванням отриманих кінематичних особливостей виконання базових вправ з обручем.

Список літератури

1. Андреева Р. І. Методика навчання техніки вправ з обручем на початковому етапі підготовки юних спортсменок з художньої гімнастики: [метод. посіб. для тренерів ДЮСШ] / Р. І. Андреева, В. А. Леонова. – Вінниця: Ландо ЛТД, 2011. – 216 с.
2. Балабанова Е. С. Анализ эффективности выполнения упражнений с предметами гимнастками различного возраста и квалификации в условиях соревновательной деятельности / Балабанова Е. С. // Совершенствование системы подготовки спортсменов : сб. науч. тр. / под ред. А. И. Федорова, С. Б. Шармановой. – Челябинск, 2005. – С. 25–31.
3. Бальсевич В. К. Эволюционная биомеханика: теория и практические приложения / В. К. Бальсевич // Теория и практика физической культуры. – 1996. – № 11. – С. 15–19.
4. Горбачева Ж. С. Формирование пластической выразительности в художественной гимнастике : автореф. дис. ... канд. пед. наук : [спец.] 13.00.04 “Теория и методика физ. воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной физ. культуры” / Ж. С. Горбачева. – СПб, 2000. – 23 с.
5. Кабардин О. Ф. Фізика : справ. матеріали / Кабардин О. Ф. – М. : Просвещение, 1991. – 367 с.
6. Николаева М. С. Формирование и совершенствование способности к пространственной ориентации у гимнасток высокой квалификации при выполнении бросков и ловли мяча: автореф. дис. ... канд. пед. наук: [спец.] 13.00.04 “Теория и методика физ. воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной физ. культуры” / М. С. Николаева. – М., 1999. – 24 с.
7. Хун Сяопин. Основы техники и методики освоения поворотов различной структуры в художественной гимнастике : автореф. дис. ... канд. пед. наук: [спец.] 13.00.04 “Теория и методика физ. воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной физ. культуры” / Хун Сяопин. – М., 1997. – 24 с.
8. Шулико Н. М. Специально-подготовительные упражнения для овладения юными гимнастками техникой сложных упражнений с мячом : автореф. дис. ... канд. пед. наук: [спец.] 13.00.04 “Теория и методика физ. воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной физ. культуры” / Н. М. Шулико; ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта. – Л., 1984. – 18 с.

**БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРЕКАТОВ ОБРУЧА
В ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ГИМНАСТИКЕ**

Регина АНДРЕЕВА

Херсонский государственный университет

Аннотация. В статье проведен биомеханический анализ выполнения переكاتов обруча в художественной гимнастике. Разработано практическое задание и рассчитаны соответствующие числовые значения угловой скорости обруча во время выполнения обратного ката, которые дают возможность повысить техническую подготовленность юных гимнасток в упражнениях с обручем.

Ключевые слова: упражнения с обручем, переكاتы обруча, биомеханический анализ, поступательное и вращательное движение, угловая скорость.

**THE BIOMECHANICAL ASPECTS OF THE HOOP ROLLOVERS
OF IN THE RHYTHMIC GYMNASTICS**

Regina ANDREEVA

Kherson State University

Abstract. The biomechanics analysis of implementation of the hoop rollovers in calisthenics is conducted in the article. Practical task is worked out and the corresponding numerical values of angular speed of hoop are calculated during the implementation of reverse roll that gives an opportunity to promote technical preparedness of young gymnasts in exercises with a hoop.

Key words: exercises with a hoop, rolls of hoop, biomechanics analysis, forward and rotatory motion, angular speed.